单元 4.3.4-面向切面编程

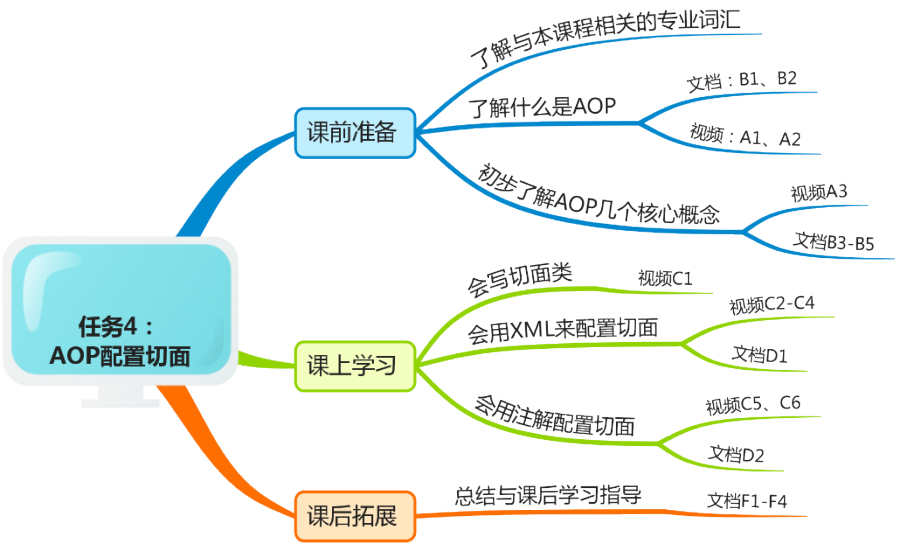
课程导入

同学们，在本单元的学习中我们将学习一个新的概念 AOP。AOP 面向切面编程和 IOC 容器是 spring 两个最重要的概念，也是最难以理解的概念，这就像我们以前是向前走，现在要倒着走，甚至横着走一样，如果单纯是去用还不是很难，关键是对编程思想的冲击和改变。

面向切面编程 AOP，让我们对方法的控制从纵向控制变为横向控制，事实上切面都已经定义好了，我们只要会用，甚至都不需要我们自己配置切面，只需要拷贝配置文件就可以了，但是这个概念是绕不过去的，需要我们理解，因此在本单元中老师会跟同学们一起定义一个切面类并配置到我们的项目中去。

知识目标	能力目标	素质目标
1. 掌握 AOP 的概念术语、动态代理、AOP 的实现。 2.掌握 AOP 的相关概念 3.掌握动态代理	1.能够写一个简单的切面类 2.能够配置切面类到项目中去 3.能够理解各种切面的配置方法	1.培养学生的团队意识和团队协作精神，锻炼学生的沟通交流能力; 2.通过项目教学，让学生真切的体验项目分析、设计、管理及实施的全过程;
学习任务	**重点难点**	**突破方法**
写一个切面类，并将这个切面配置到项目中去	1.AOP 的概念 2.切面类的定义 3.切面的配置	采用翻转课堂、项目导入的教学模式，进行分组讨论、演示动画原理。

学习导航



任务1

理解什么是 AOP，为什么要面向切面编程？

什么是 AOP

AOP（Aspect-OrientedProgramming，面向切面编程），可以说是 OOP（Object-Oriented Programing，面向对象编程）的补充和完善。OOP 引入封装、继承和多态性等概念来建立一种对象层次结构，用以模拟公共行为的一个集合。当我们需要为分散的对象引入公共行为的时候，OOP 则显得无能为力。也就是说，OOP 允许你定义从上到下的关系，但并不适合定义从左到右的关系。例如日志功能。日志代码往往水平地散布在所有对象层次中，而与它所散布到的对象的核心功能毫无关系。对于其他类型的代码，如安全性、异常处理和透明的持续性也是如此。这种散布在各处的无关的代码被称为横切（cross-cutting）代码，在 OOP 设计中，它导致了大量代码的重复，而不利于各个模块的重用。

而 AOP 技术则恰恰相反，它利用一种称为“横切”的技术，剖解开封装的对象内部，并将那些影响了多个类的公共行为封装到一个可重用模块，并将其名为“Aspect”，即方面。所谓“方面”，简单地说，就是将那些与业务无关，却为业务模块所共同调用的逻辑或责任封装起来，便于减少系统的重复代码，降低模块间的耦合度，并有利于未来的可操作性和可维护性。AOP 代表的是一个横向的关系，如果说“对象”是一个空心的圆柱体，其中封装的是对象的属性和行为；那么面向方面编程的方法，就仿佛一把利刃，将这些空心圆柱体剖开，以获得其内部的消息。而剖开的切面，也就是所谓的“方面”了。然后它又以巧夺天功的妙手将这些剖开的切面复原，不留痕迹。

一 AOP 的基本概念

- (1)Aspect(切面):通常是一个类，里面可以定义切入点和通知
- (2)JointPoint(连接点):程序执行过程中明确的点，一般是方法的调用
- (3)Advice(通知):AOP 在特定的切入点上执行的增强处理，有 before,after,afterReturning,afterThrowing,around
- (4)Pointcut(切入点):就是带有通知的连接点，在程序中主要体现为书写切入点表达式
- (5)AOP 代理：AOP 框架创建的对象，代理就是目标对象的加强。Spring 中的 AOP 代理可以使 JDK 动态代理，也可以是 CGLIB 代理，前者基于接口，后者基于子类

通知方法:

1. 前置通知:在我们执行目标方法之前运行(**@Before**)
2. 后置通知:在我们目标方法运行结束之后 ,不管有没有异常(**@After**)
3. 返回通知:在我们的目标方法正常返回值后运行(**@AfterReturning**)
4. 异常通知:在我们的目标方法出现异常后运行(**@AfterThrowing**)
5. 环绕通知:动态代理, 需要手动执行 joinPoint.procced()(其实就是执行我们的目标方法执行之前相当于前置通知, 执行之后就相当于我们后置通知(**@Around**)

二 Spring AOP

Spring 中的 AOP 代理还是离不开 Spring 的 IOC 容器，代理的生成，管理及其依赖关系都是由 IOC 容器负责，Spring 默认使用 JDK 动态代理，在需要代理类而不是代理接口的时候，Spring 会自动切换为使用 CGLIB 代理，不过现在的项目都是面向接口编程，所以 JDK 动态代理相对来说用的还是多一

	些。

任务2	**基于注解配置一个 AOP 切面**
	
	切面类：
	
	package com.enjoy.cap10.aop;
	
	import org.aspectj.lang.ProceedingJoinPoint;
	import org.aspectj.lang.annotation.After;
	import org.aspectj.lang.annotation.AfterReturning;
	import org.aspectj.lang.annotation.AfterThrowing;
	import org.aspectj.lang.annotation.Before;
	import org.aspectj.lang.annotation.Pointcut;
	import org.aspectj.lang.annotation.Around;
	import org.aspectj.lang.annotation.Aspect;
	
	//日志切面类
	@Aspect
	public class LogAspects {
	@Pointcut("execution(public int com.enjoy.cap10.aop.Calculator.*(..))")
	public void pointCut(){};
	
	//@before 代表在目标方法执行前切入，并指定在哪个方法前切入
	@Before("pointCut()")
	public void logStart(){
	System.out.println("除法运行....参数列表是:{}");
	}
	@After("pointCut()")
	public void logEnd(){
	System.out.println("除法结束.....");
	}
	@AfterReturning("pointCut()")
	public void logReturn(){
	System.out.println("除法正常返回.....运行结果是:{}");
	}
	@AfterThrowing("pointCut()")
	public void logException(){
	System.out.println("运行异常.....异常信息是:{}");
	}
	@Around("pointCut()")
	public Object Around(ProceedingJoinPoint proceedingJoinPoint) throws Throwable{
	System.out.println("@Arount:执行目标方法之前...");
	Object obj = proceedingJoinPoint.proceed();//相当于开始调 div 地

```
9.                 System.out.println("@Arount:执行目标方法之后...");
0.                 return obj;
1.         }
2. }
```

目标方法：

```
package com.enjoy.cap10.aop;

public class Calculator {
        //业务逻辑方法
        public int div(int i, int j){
                System.out.println("--------");
                return i/j;
        }
}
```

配置类：

```
package com.enjoy.cap10.config;

import org.springframework.context.annotation.Bean;
import org.springframework.context.annotation.Configuration;
import org.springframework.context.annotation.EnableAspectJAutoProxy;

import com.enjoy.cap10.aop.Calculator;
import com.enjoy.cap10.aop.LogAspects;

0. @Configuration
1. @EnableAspectJAutoProxy
2. public class Cap10MainConfig {
3.         @Bean
4.         public Calculator calculator(){
5.                 return new Calculator();
6.         }
7.
8.         @Bean
9.         public LogAspects logAspects(){
0.                 return new LogAspects();
1.         }
2. }
```

测试类：

```
public class Cap10Test {
        @Test
        public void test01(){
```

```
                AnnotationConfigApplicationContext app = new
AnnotationConfigApplicationContext(Cap10MainConfig.class);
                Calculator c = app.getBean(Calculator.class);
                int result = c.div(4, 3);
                System.out.println(result);
                app.close();

        }
}
```

结果：

```
@Arount:执行目标方法之前...
除法运行....参数列表是:{}
--------
@Arount:执行目标方法之后...
除法结束......
除法正常返回......运行结果是:{}
1
```

任务3

AOP 源码分析

```
@Target(ElementType.TYPE)
@Retention(RetentionPolicy.RUNTIME)
@Documented
@Import(AspectJAutoProxyRegistrar.class)
public @interface EnableAspectJAutoProxy {

    /**
     * Indicate whether subclass-based (CGLIB) proxies are to be created as opposed
     * to standard Java interface-based proxies. The default is {@code false}.
     */
    boolean proxyTargetClass() default false;

    /**
     * Indicate that the proxy should be exposed by the AOP framework as a {@code
ThreadLocal}
     * for retrieval via the {@link org.springframework.aop.framework.AopContext} class.
     * Off by default, i.e. no guarantees that {@code AopContext} access will work.
     * @since 4.3.1
     */
    boolean exposeProxy() default false;

}
```

1. }

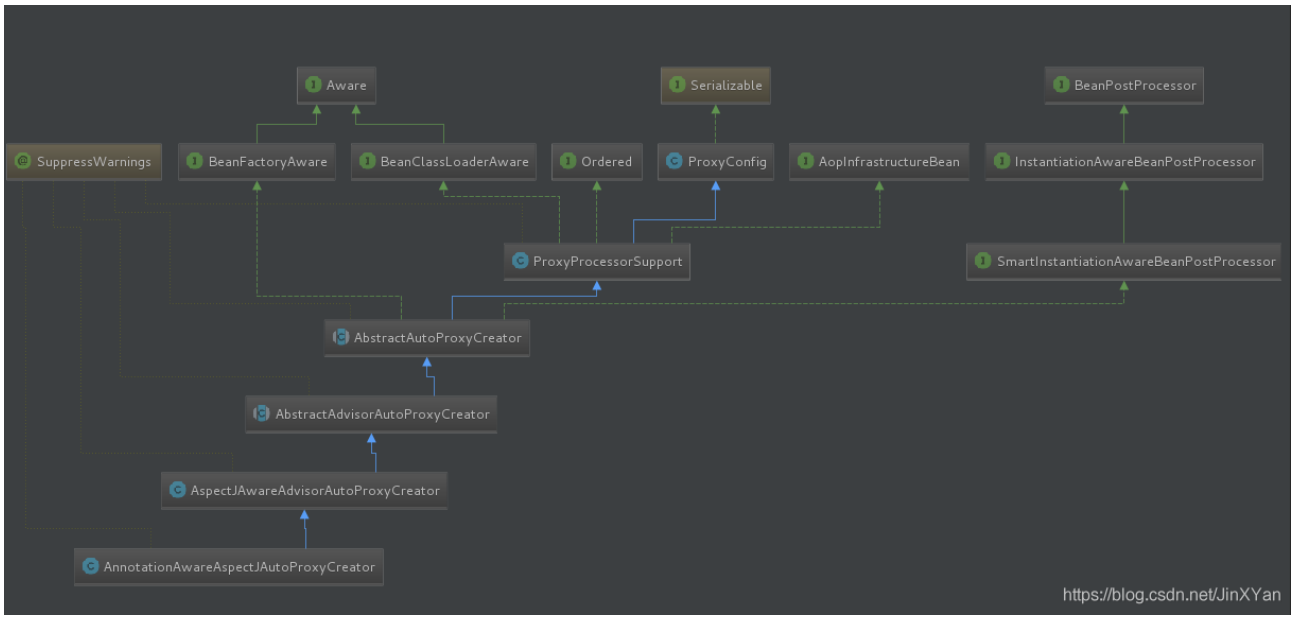
英文注解已经很详细了,这里简单介绍一下两个参数,一个是控制 aop 的具体实现方式,为 true 的话使用 cglib,为 false 的话使用 java 的 Proxy,默认为 false,第二个参数控制代理的暴露方式,解决内部调用不能使用代理的场景，默认为 false.

这里核心是@Import(AspectJAutoProxyRegistrar.class);在 AspectJAutoProxyRegistrar 里,核心的地方是

```
AopConfigUtils.registerAspectJAnnotationAutoProxyCreatorIfNecessary(registry);
```

一个 AOP 的工具类,这个工具类的主要作用是把 AnnotationAwareAspectJAutoProxyCreator 这个类定义为 BeanDefinition 放到 spring 容器中,这是通过实现 ImportBeanDefinitionRegistrar 接口来装载的,具体装载过程不是本篇的重点,这里就不赘述,我们重点看 AnnotationAwareAspectJAutoProxyCreator 这个类.

首先看看这个类图:



从类图是可以大致了解 AnnotationAwareAspectJAutoProxyCreator 这个类的功能.它实现了一系列 Aware 的接口,在 Bean 装载的时候获取 BeanFactory(Bean 容器),Bean 的 ClassLoader,还实现了 order 接口,继承了 PorxyConfig,ProxyConfig 中主要封装了代理的通用处理逻辑,比如设置目标类,设置使用 cglib 还是 java proxy 等一些基础配置.

而能够让这个类参与到 bean 初始化功能,并为 bean 添加代理功能的还是因为它实现了 BeanPostProcessor 这个接口.这个接口的 postProcessAfterInitialization 方法会在 bean 初始化结束后(赋值完成)被调用。

这里先看一下最顶部的抽象类:AbstractAutoProxyCreator,这个抽象类主要抽象了实现代理的逻辑:

```
@Override
        public Object postProcessBeforeInitialization(Object bean, String beanName) {
```

```
                return bean;
        }

    // 主要看这个方法，在 bean 初始化之后对生产出的 bean 进行包装
        @Override
        public Object postProcessAfterInitialization(Object bean, String beanName) throws
BeansException {
                if (bean != null) {
                        Object cacheKey = getCacheKey(bean.getClass(), beanName);
                        if (!this.earlyProxyReferences.contains(cacheKey)) {
                                return wrapIfNecessary(bean, beanName, cacheKey);
                        }
                }
                return bean;
        }

    // wrapIfNecessary
        protected Object wrapIfNecessary(Object bean, String beanName, Object cacheKey) {
                if (beanName != null && this.targetSourcedBeans.contains(beanName)) {
                        return bean;
                }
                if (Boolean.FALSE.equals(this.advisedBeans.get(cacheKey))) {
                        return bean;
                }
                if (isInfrastructureClass(bean.getClass()) || shouldSkip(bean.getClass(),
beanName)) {
                        this.advisedBeans.put(cacheKey, Boolean.FALSE);
                        return bean;
                }

                // Create proxy if we have advice.
        // 意思就是如果该类有 advice 则创建 proxy，
                Object[] specificInterceptors =
getAdvicesAndAdvisorsForBean(bean.getClass(), beanName, null);
                if (specificInterceptors != DO_NOT_PROXY) {
                        this.advisedBeans.put(cacheKey, Boolean.TRUE);
            // 1.通过方法名也能简单猜测到，这个方法就是把 bean 包装为 proxy 的主要方法，
                        Object proxy = createProxy(
                                        bean.getClass(), beanName,
specificInterceptors, new SingletonTargetSource(bean));
                        this.proxyTypes.put(cacheKey, proxy.getClass());

            // 2.返回该 proxy 代替原来的 bean
                        return proxy;
```

```
            }

            this.advisedBeans.put(cacheKey, Boolean.FALSE);
            return bean;
        }
```

总结：

- **1）将 AnnotationAwareAspectJAutoProxyCreator 注册到 Spring 容器中**
- **2）AnnotationAwareAspectJAutoProxyCreator 类的 postProcessAfterInitialization()方法将所有有 advice 的 bean 重新包装成 proxy**

创建 proxy 过程分析

通过之前的代码结构分析，我们知道，所有的 bean 在返回给用户使用之前都需要经过 AnnotationAwareAspectJAutoProxyCreator 类的 postProcessAfterInitialization()方法，而该方法的主要作用也就是将所有拥有 advice 的 bean 重新包装为 proxy，那么我们接下来直接分析这个包装为 proxy 的方法即可，看一下 bean 如何被包装为 proxy，proxy 在被调用方法时，是具体如何执行的

以下是 AbstractAutoProxyCreator.wrapIfNecessary(Object bean, String beanName, Object cacheKey)中的 createProxy()代码片段分析

```
protected Object createProxy(
                        Class<?> beanClass, String beanName, Object[]
specificInterceptors, TargetSource targetSource) {

            if (this.beanFactory instanceof ConfigurableListableBeanFactory) {

        AutoProxyUtils.exposeTargetClass((ConfigurableListableBeanFactory)
this.beanFactory, beanName, beanClass);
            }

        // 1.创建 proxyFactory，proxy 的生产主要就是在 proxyFactory 做的
            ProxyFactory proxyFactory = new ProxyFactory();
            proxyFactory.copyFrom(this);

            if (!proxyFactory.isProxyTargetClass()) {
                    if (shouldProxyTargetClass(beanClass, beanName)) {
                            proxyFactory.setProxyTargetClass(true);
                    }
                    else {
                            evaluateProxyInterfaces(beanClass, proxyFactory);
                    }
            }

```

```
        // 2.将当前 bean 适合的 advice，重新封装下，封装为 Advisor 类，然后添加到 ProxyFactory 中
                Advisor[] advisors = buildAdvisors(beanName, specificInterceptors);
                for (Advisor advisor : advisors) {
                        proxyFactory.addAdvisor(advisor);
                }

                proxyFactory.setTargetSource(targetSource);
                customizeProxyFactory(proxyFactory);

                proxyFactory.setFrozen(this.freezeProxy);
                if (advisorsPreFiltered()) {
                        proxyFactory.setPreFiltered(true);
                }

        // 3.调用 getProxy 获取 bean 对应的 proxy
                return proxyFactory.getProxy(getProxyClassLoader());
        }
```

TargetSource 中存放被代理的对象,这段代码主要是为了构建 ProxyFactory,将配置信息(是否使用 java proxy,是否 threadlocal 等),目标类,切面,传入 ProxyFactory 中

1）创建何种类型的 Proxy？JDKProxy 还是 CGLIBProxy？

```
// getProxy()方法
        public Object getProxy(ClassLoader classLoader) {
                return createAopProxy().getProxy(classLoader);
        }


    // createAopProxy()方法就是决定究竟创建何种类型的 proxy
        protected final synchronized AopProxy createAopProxy() {
                if (!this.active) {
                        activate();
                }
        // 关键方法 createAopProxy()
                return getAopProxyFactory().createAopProxy(this);
        }

    // createAopProxy()
        public AopProxy createAopProxy(AdvisedSupport config) throws AopConfigException {
        // 1.config.isOptimize()是否使用优化的代理策略，目前使用与 CGLIB
        // config.isProxyTargetClass() 是否目标类本身被代理而不是目标类的接口
        // hasNoUserSuppliedProxyInterfaces()是否存在代理接口
```

```
                if (config.isOptimize() || config.isProxyTargetClass() ||
hasNoUserSuppliedProxyInterfaces(config)) {
                        Class<?> targetClass = config.getTargetClass();
                        if (targetClass == null) {
                                throw new AopConfigException("TargetSource cannot
determine target class: " +
                                                "Either an interface or a target is
required for proxy creation.");
                        }

                // 2.如果目标类是接口或者是代理类，则直接使用JDKproxy
                        if (targetClass.isInterface() || Proxy.isProxyClass(targetClass))
{
                                return new JdkDynamicAopProxy(config);
                        }

                // 3.其他情况则使用CGLIBproxy
                        return new ObjenesisCglibAopProxy(config);
                }
                else {
                        return new JdkDynamicAopProxy(config);
                }
        }
```

2）getProxy()方法

由 1）可知，通过 createAopProxy()方法来确定具体使用何种类型的 Proxy，针对于该示例，我们具体使用的为 JdkDynamicAopProxy，下面来看下 JdkDynamicAopProxy.getProxy()方法

```
final class JdkDynamicAopProxy implements AopProxy, InvocationHandler, Serializable//
JdkDynamicAopProxy 类结构，由此可知，其实现了 InvocationHandler，则必定有 invoke 方法，来被
调用，也就是用户调用 bean 相关方法时，此 invoke()被真正调用
    // getProxy()
    public Object getProxy(ClassLoader classLoader) {
                if (logger.isDebugEnabled()) {
                        logger.debug("Creating JDK dynamic proxy: target source is " +
this.advised.getTargetSource());
                }
                Class<?>[] proxiedInterfaces =
AopProxyUtils.completeProxiedInterfaces(this.advised, true);
                findDefinedEqualsAndHashCodeMethods(proxiedInterfaces);

        // JDK proxy 动态代理的标准用法
                return Proxy.newProxyInstance(classLoader, proxiedInterfaces, this);
        }
```

3）invoke()方法

以上的代码模式可以很明确的看出来，使用了 JDK 动态代理模式，真正的方法执行在 invoke()方法里，下面我们来看下该方法，来看下 bean 方法如何被代理执行的

```
        public Object invoke(Object proxy, Method method, Object[] args) throws Throwable
{
                MethodInvocation invocation;
                Object oldProxy = null;
                boolean setProxyContext = false;

                TargetSource targetSource = this.advised.targetSource;
                Class<?> targetClass = null;
                Object target = null;

                try {
            // 1.以下的几个判断，主要是为了判断 method 是否为 equals、hashCode 等 Object 的方法
                        if (!this.equalsDefined && AopUtils.isEqualsMethod(method)) {
                                // The target does not implement the equals(Object) method itself.
                                return equals(args[0]);
                        }
                        else if (!this.hashCodeDefined && AopUtils.isHashCodeMethod(method)) {
                                // The target does not implement the hashCode() method itself.
                                return hashCode();
                        }
                        else if (method.getDeclaringClass() == DecoratingProxy.class) {
                                // There is only getDecoratedClass() declared -> dispatch to proxy config.
                                return AopProxyUtils.ultimateTargetClass(this.advised);
                        }
                        else if (!this.advised.opaque &&
method.getDeclaringClass().isInterface() &&

        method.getDeclaringClass().isAssignableFrom(Advised.class)) {
                                // Service invocations on ProxyConfig with the proxy config...
                                return
AopUtils.invokeJoinpointUsingReflection(this.advised, method, args);
                        }

```

```
                Object retVal;

                if (this.advised.exposeProxy) {
                        // Make invocation available if necessary.
                        oldProxy = AopContext.setCurrentProxy(proxy);
                        setProxyContext = true;
                }

                // May be null. Get as late as possible to minimize the time we
"own" the target,
                // in case it comes from a pool.
                target = targetSource.getTarget();
                if (target != null) {
                        targetClass = target.getClass();
                }

                // 2.获取当前 bean 被拦截方法链表
                List<Object> chain =
this.advised.getInterceptorsAndDynamicInterceptionAdvice(method, targetClass);

                // 3.如果为空，则直接调用 target 的 method
                if (chain.isEmpty()) {
                        Object[] argsToUse =
AopProxyUtils.adaptArgumentsIfNecessary(method, args);
                        retVal = AopUtils.invokeJoinpointUsingReflection(target,
method, argsToUse);
                }
            // 4.不为空，则逐一调用 chain 中的每一个拦截方法的 proceed
                else {
                        // We need to create a method invocation...
                        invocation = new ReflectiveMethodInvocation(proxy,
target, method, args, targetClass, chain);
                        // Proceed to the joinpoint through the interceptor
chain.
                        retVal = invocation.proceed();
                }

                ...
                return retVal;
        }
        ...
    }
```

4）拦截方法真正被执行调用 invocation.proceed()

```
        public Object proceed() throws Throwable {
                //        We start with an index of -1 and increment early.
                if (this.currentInterceptorIndex ==
this.interceptorsAndDynamicMethodMatchers.size() - 1) {
                        return invokeJoinpoint();
                }

                Object interceptorOrInterceptionAdvice =

        this.interceptorsAndDynamicMethodMatchers.get(++this.currentInterceptorIndex);
                if (interceptorOrInterceptionAdvice instanceof
InterceptorAndDynamicMethodMatcher) {
                        // Evaluate dynamic method matcher here: static part will already
have
                        // been evaluated and found to match.
                        InterceptorAndDynamicMethodMatcher dm =
                                        (InterceptorAndDynamicMethodMatcher)
interceptorOrInterceptionAdvice;
                        if (dm.methodMatcher.matches(this.method, this.targetClass,
this.arguments)) {
                                return dm.interceptor.invoke(this);
                        }
                        else {
                                // Dynamic matching failed.
                                // Skip this interceptor and invoke the next in the
chain.
                                return proceed();
                        }
                }
                else {
                        // It's an interceptor, so we just invoke it: The pointcut will
have
                        // been evaluated statically before this object was constructed.
                        return ((MethodInterceptor)
interceptorOrInterceptionAdvice).invoke(this);
                }
        }
```

总结 4：依次遍历拦截器链的每个元素，然后调用其实现，将真正调用工作委托给各个增强器

总结：

纵观以上过程可知：实际就是为 bean 创建一个 proxy，JDKproxy 或者 CGLIBproxy，然后在调用 bean 的方法时，会通过 proxy 来调用 bean 方法

重点过程可分为：

1）将 AnnotationAwareAspectJAutoProxyCreator 注册到 Spring 容器中

2）AnnotationAwareAspectJAutoProxyCreator 类的 postProcessAfterInitialization()方法将所有有 advice 的 bean 重新包装成 proxy

3）调用 bean 方法时通过 proxy 来调用，proxy 依次调用增强器的相关方法，来实现方法切