# 课程目标

1、通过分析 Spring 源码，深刻掌握核心原理和设计思想。

2、通过本课的学习，完全掌握 Spring AOP 的重要细节。

3、手绘 Spring AOP 运行时序图。

# 内容定位

1、Spring 使用不熟练者不适合学习本章内容。

2、先掌握执行流程，再理解设计思想，这个过程至少要花 1 个月。

3、Spring 源码非常经典，体系也非常庞大，看一遍是远远不够的。

# Spring AOP 初体验

## 再述 Spring AOP 应用场景

AOP 是 OOP 的延续，是 Aspect Oriented Programming 的缩写，意思是面向切面编程。可以通过预编译方式和运行期动态代理实现在不修改源代码的情况下给程序动态统一添加功能的一种技术。AOP 设计模式孜孜不倦追求的是调用者和被调用者之间的解耦，AOP 可以说也是这种目标的一种实现。

我们现在做的一些非业务，如：日志、事务、安全等都会写在业务代码中(也即是说，这些非业务类横切于业务类)，但这些代码往往是重复，复制——粘贴式的代码会给程序的维护带来不便，AOP 就实现了把这些业务需求与系统需求分开来做。这种解决的方式也称代理机制。

## AOP 中必须明白的几个概念

### 1、切面（Aspect）

官方的抽象定义为“一个关注点的模块化，这个关注点可能会横切多个对象”。“切面”在ApplicationContext 中<aop:aspect>来配置。

连接点（Joinpoint）：程序执行过程中的某一行为，例如，MemberService .get 的调用或者MemberService .delete 抛出异常等行为。

**2、通知（Advice)**

“切面”对于某个“连接点”所产生的动作。其中，一个“切面”可以包含多个“Advice”。

**3、切入点（Pointcut)**

匹配连接点的断言，在 AOP 中通知和一个切入点表达式关联。切面中的所有通知所关注的连接点，都由切入点表达式来决定。

**4、目标对象（Target Object)**

被一个或者多个切面所通知的对象。例如，AServcieImpl 和 BServiceImpl，当然在实际运行时，Spring AOP 采用代理实现，实际 AOP 操作的是 TargetObject 的代理对象。

**5、AOP 代理（AOP Proxy)**

在 Spring AOP 中有两种代理方式，JDK 动态代理和 CGLib 代理。默认情况下，TargetObject 实现了接口时，则采用 JDK 动态代理，例如，AServiceImpl；反之，采用 CGLib 代理，例如，BServiceImpl。强制使用 CGLib 代理需要将 <aop:config>的 proxy-target-class 属性设为 true。

通知（Advice）类型:

**6、前置通知（Before Advice)**

在某连接点（JoinPoint）之前执行的通知，但这个通知不能阻止连接点前的执行。ApplicationContext 中在<aop:aspect>里面使用<aop:before>元素进行声明。例如，TestAspect 中的 doBefore 方法。

**7、后置通知（After Advice)**

当某连接点退出的时候执行的通知（不论是正常返回还是异常退出）。ApplicationContext 中在<aop:aspect>里面使用<aop:after>元素进行声明。例如，ServiceAspect 中的 returnAfter 方法，所以 Teser 中调用 UserService.delete 抛出异常时，returnAfter 方法仍然执行。

**8、返回后通知（After Return Advice）**

在某连接点正常完成后执行的通知，不包括抛出异常的情况。ApplicationContext 中在<aop:aspect>里面使用<after-returning>元素进行声明。

**9、环绕通知（Around Advice）**

包围一个连接点的通知，类似 Web 中 Servlet 规范中的 Filter 的 doFilter 方法。可以在方法的调用前后完成自定义的行为，也可以选择不执行。ApplicationContext 中在<aop:aspect>里面使用<aop:around>元素进行声明。例如，ServiceAspect 中的 around 方法。

**10、异常通知（After Throwing Advice）**

在方法抛出异常退出时执行的通知。ApplicationContext 中在<aop:aspect>里面使用<aop:after-throwing>元素进行声明。例如，ServiceAspect 中的 returnThrow 方法。

注：可以将多个通知应用到一个目标对象上，即可以将多个切面织入到同一目标对象。

使用 Spring AOP 可以基于两种方式，一种是比较方便和强大的注解方式，另一种则是中规中矩的 xml 配置方式。

先说注解，使用注解配置 Spring AOP 总体分为两步，第一步是在 xml 文件中声明激活自动扫描组件功能，同时激活自动代理功能（来测试 AOP 的注解功能）：

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<beans xmlns="http://www.springframework.org/schema/beans"
      xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
      xmlns:context="http://www.springframework.org/schema/context"
      xmlns:util="http://www.springframework.org/schema/util"
      xsi:schemaLocation="http://www.springframework.org/schema/beans
http://www.springframework.org/schema/beans/spring-beans.xsd
       http://www.springframework.org/schema/util
```

```
http://www.springframework.org/schema/util/spring-util-2.0.xsd
      http://www.springframework.org/schema/context
http://www.springframework.org/schema/context/spring-context-3.0.xsd">

   <context:component-scan base-package="com.gupaoedu"/>
   <context:annotation-config />
</beans>
```

第二步是为 Aspect 切面类添加注解：

```
//声明这是一个组件
@Component
//声明这是一个切面 Bean
@Aspect
@Slf4j
public class AnnotaionAspect {

   //配置切入点,该方法无方法体,主要为方便同类中其他方法使用此处配置的切入点
   @Pointcut("execution(* com.gupaoedu.vip.pattern.spring.aop.service..*(..))")
   public void aspect(){  }

   /*
    * 配置前置通知,使用在方法 aspect()上注册的切入点
    * 同时接受 JoinPoint 切入点对象,可以没有该参数
    */
   @Before("aspect()")
   public void before(JoinPoint joinPoint){

      log.info("before 通知 " + joinPoint);
   }

   //配置后置通知,使用在方法 aspect()上注册的切入点
   @After("aspect()")
   public void after(JoinPoint joinPoint){

      log.info("after 通知  " + joinPoint);
   }

   //配置环绕通知,使用在方法 aspect()上注册的切入点
   @Around("aspect()")
   public void around(JoinPoint joinPoint){
      long start = System.currentTimeMillis();
      try {
         ((ProceedingJoinPoint) joinPoint).proceed();
         long end = System.currentTimeMillis();
```

```
        log.info("around 通知 " + joinPoint + "\tUse time : " + (end - start) + " ms!");
      } catch (Throwable e) {
        long end = System.currentTimeMillis();
        log.info("around 通知 " + joinPoint + "\tUse time : " + (end - start) + " ms with exception :
" + e.getMessage());
      }
   }

   //配置后置返回通知,使用在方法 aspect()上注册的切入点
   @AfterReturning("aspect()")
   public void afterReturn(JoinPoint joinPoint){
      log.info("afterReturn 通知 " + joinPoint);
   }

   //配置抛出异常后通知,使用在方法 aspect()上注册的切入点
   @AfterThrowing(pointcut="aspect()", throwing="ex")
   public void afterThrow(JoinPoint joinPoint, Exception ex){
      log.info("afterThrow 通知 " + joinPoint + "\t" + ex.getMessage());
   }

}
```

测试代码

```
@ContextConfiguration(locations = {"classpath*:application-context.xml"})
@RunWith(SpringJUnit4ClassRunner.class)
public class AnnotationTester {
   @Autowired
   MemberService annotationService;
   @Autowired
   ApplicationContext app;


   @Test
// @Ignore
   public void test(){
      System.out.println("=====这是一条华丽的分割线======");

      AnnotaionAspect aspect = app.getBean(AnnotaionAspect.class);
      System.out.println(aspect);
      annotationService.save(new Member());

      System.out.println("=====这是一条华丽的分割线======");
      try {
         annotationService.delete(1L);
```

```
        } catch (Exception e) {
            //e.printStackTrace();
        }
    }

}
```

控制台输出如下：

```
=====这是一条华丽的分割线======
com.gupaoedu.aop.aspect.AnnotaionAspect@6ef714a0
[INFO ] [13:04:46] com.gupaoedu.aop.aspect.AnnotaionAspect - before execution(void
com.gupaoedu.aop.service.MemberService.save(Member))
[INFO ] [13:04:46] com.gupaoedu.aop.aspect.ArgsAspect - beforeArgUser execution(void
com.gupaoedu.aop.service.MemberService.save(Member))
[INFO ] [13:04:46] com.gupaoedu.aop.aspect.AnnotaionAspect - save member Method . . .
[INFO ] [13:04:46] com.gupaoedu.aop.aspect.AnnotaionAspect - around execution(void
com.gupaoedu.aop.service.MemberService.save(Member))   Use time : 38 ms!
[INFO ] [13:04:46] com.gupaoedu.aop.aspect.AnnotaionAspect - after execution(void
com.gupaoedu.aop.service.MemberService.save(Member))
[INFO ] [13:04:46] com.gupaoedu.aop.aspect.AnnotaionAspect - afterReturn execution(void
com.gupaoedu.aop.service.MemberService.save(Member))
=====这是一条华丽的分割线======
[INFO ] [13:04:46] com.gupaoedu.aop.aspect.AnnotaionAspect - before execution(boolean
com.gupaoedu.aop.service.MemberService.delete(long))
[INFO ] [13:04:46] com.gupaoedu.aop.aspect.ArgsAspect - beforeArgId execution(boolean
com.gupaoedu.aop.service.MemberService.delete(long))   ID:1
[INFO ] [13:04:46] com.gupaoedu.aop.aspect.AnnotaionAspect - delete Method . . .
[INFO ] [13:04:46] com.gupaoedu.aop.aspect.AnnotaionAspect - around execution(boolean
com.gupaoedu.aop.service.MemberService.delete(long))   Use time : 3 ms with exception : spring aop ThrowAdvice
演示
[INFO ] [13:04:46] com.gupaoedu.aop.aspect.AnnotaionAspect - after execution(boolean
com.gupaoedu.aop.service.MemberService.delete(long))
[INFO ] [13:04:46] com.gupaoedu.aop.aspect.AnnotaionAspect - afterReturn execution(boolean
com.gupaoedu.aop.service.MemberService.delete(long))
```

可以看到，正如我们预期的那样，虽然我们并没有对 MemberService 类包括其调用方式做任何改变，但是 Spring 仍然拦截到了其中方法的调用，或许这正是 AOP 的魔力所在。

再简单说一下 xml 配置方式，其实也一样简单：

```
<bean id="xmlAspect" class="com.gupaoedu.vip.pattern.spring.aop.aspect.XmlAspect"></bean>
<!-- AOP 配置 -->
<aop:config>
    <!-- 声明一个切面,并注入切面 Bean,相当于@Aspect -->
```

```
    <aop:aspect ref="xmlAspect">
        <!-- 配置一个切入点,相当于@Pointcut -->
        <aop:pointcut expression="execution(* com.gupaoedu.vip.pattern.spring.aop.service..*(..))"
id="simplePointcut"/>
        <!-- 配置通知,相当于@Before、@After、@AfterReturn、@Around、@AfterThrowing -->
        <aop:before pointcut-ref="simplePointcut" method="before"/>
        <aop:after pointcut-ref="simplePointcut" method="after"/>
        <aop:after-returning pointcut-ref="simplePointcut" method="afterReturn"/>
        <aop:after-throwing pointcut-ref="simplePointcut" method="afterThrow" throwing="ex"/>
    </aop:aspect>
</aop:config>
```

个人觉得不如注解灵活和强大，你可以不同意这个观点，但是不知道如下的代码会不会让你的想法有所改善：

```
//配置切入点,该方法无方法体,主要为方便同类中其他方法使用此处配置的切入点
@Pointcut("execution(* com.gupaoedu.aop.service..*(..))")
public void aspect(){  }

//配置前置通知,拦截返回值为 cn.ysh.studio.spring.mvc.bean.User 的方法
@Before("execution(com.gupaoedu.model.Member com.gupaoedu.aop.service..*(..))")
public void beforeReturnUser(JoinPoint joinPoint){
   log.info("beforeReturnUser " + joinPoint);
}

//配置前置通知,拦截参数为 cn.ysh.studio.spring.mvc.bean.User 的方法
@Before("execution(* com.gupaoedu.aop.service..*(com.gupaoedu.model.Member))")
public void beforeArgUser(JoinPoint joinPoint){
   log.info("beforeArgUser " + joinPoint);
}

//配置前置通知,拦截含有 long 类型参数的方法,并将参数值注入到当前方法的形参 id 中
@Before("aspect()&&args(id)")
public void beforeArgId(JoinPoint joinPoint, long id){
   log.info("beforeArgId " + joinPoint + "\tID:" + id);
}
```

以下是 MemberService 的代码：

```
@Service
public class MemberService {

   private final static Logger log = Logger.getLogger(AnnotaionAspect.class);

   public Member get(long id){
```

```
        log.info("getMemberById Method . . .");
        return new Member();
    }

    public Member get(){
        log.info("getMember Method . . .");
        return new Member();
    }

    public void save(Member member){
        log.info("save member Method . . .");
    }

    public boolean delete(long id) throws Exception{
        log.info("delete Method . . .");
        throw new Exception("spring aop ThrowAdvice 演示");
    }

}
```

应该说学习 Spring AOP 有两个难点，第一点在于理解 AOP 的理念和相关概念，第二点在于灵活掌握和使用切入点表达式。概念的理解通常不在一朝一夕，慢慢浸泡的时间长了，自然就明白了，下面我们简单地介绍一下切入点表达式的配置规则吧。

通常情况下，表达式中使用”execution“就可以满足大部分的要求。表达式格式如下：

```
execution(modifiers-pattern? ret-type-pattern declaring-type-pattern? name-pattern(param-pattern)
throws-pattern?
```

modifiers-pattern：方法的操作权限

ret-type-pattern：返回值

declaring-type-pattern：方法所在的包

name-pattern：方法名

parm-pattern：参数名

throws-pattern：异常

其中，除 ret-type-pattern 和 name-pattern 之外，其他都是可选的。上例中，execution(* com.spring.service.*.*(..))表示 com.spring.service 包下，返回值为任意类型；方法名任意；参数不作限制的所有方法。

最后说一下通知参数，可以通过 args 来绑定参数，这样就可以在通知（Advice）中访问具体参数了。

例如，<aop:aspect>配置如下：

```
<aop:config>
   <aop:aspect ref="xmlAspect">
      <aop:pointcut id="simplePointcut"
                expression="execution(* com.gupaoedu.aop.service..*(..)) and args(msg,..)" />
      <aop:after pointcut-ref="simplePointcut" Method="after"/>
   </aop:aspect>
</aop:config>
```

上面的代码 args(msg,..)是指将切入点方法上的第一个 String 类型参数添加到参数名为 msg 的通知的入参上，这样就可以直接使用该参数啦。

在上面的 Aspect 切面 Bean 中已经看到了，每个通知方法第一个参数都是 JoinPoint。其实，在 Spring 中，任何通知（Advice）方法都可以将第一个参数定义为 org.aspectj.lang.JoinPoint 类型用以接受当前连接点对象。JoinPoint 接口提供了一系列有用的方法， 比如 getArgs() （返回方法参数）、getThis() （返回代理对象）、getTarget() （返回目标）、getSignature() （返回正在被通知的方法相关信息）和 toString() （打印出正在被通知的方法的有用信息）。

# Spring AOP 源码分析

## 寻找入口

Spring 的 AOP 是通过接入 BeanPostProcessor 后置处理器开始的，它是 Spring IOC 容器经常使用到的一个特性，这个 Bean 后置处理器是一个监听器，可以监听容器触发的 Bean 声明周期事件。后置处理器向容器注册以后，容器中管理的 Bean 就具备了接收 IOC 容器事件回调的能力。

BeanPostProcessor 的使用非常简单，只需要提供一个实现接口 BeanPostProcessor 的实现类，然后在 Bean 的配置文件中设置即可。

### 1、BeanPostProcessor 源码

```
public interface BeanPostProcessor {

   //为在 Bean 的初始化前提供回调入口
   @Nullable
   default Object postProcessBeforeInitialization(Object bean, String beanName) throws BeansException {
      return bean;
   }

   //为在 Bean 的初始化之后提供回调入口
   @Nullable
   default Object postProcessAfterInitialization(Object bean, String beanName) throws BeansException {
      return bean;
   }

}
```

这两个回调的入口都是和容器管理的 Bean 的生命周期事件紧密相关，可以为用户提供在 Spring IOC 容器初始化 Bean 过程中自定义的处理操作。

### 2、AbstractAutowireCapableBeanFactory 类对容器生成的 Bean 添加后置处理器

BeanPostProcessor 后置处理器的调用发生在 Spring IOC 容器完成对 Bean 实例对象的创建和属性的依赖注入完成之后，在对 Spring 依赖注入的源码分析过程中我们知道，当应用程序第一次调用 getBean()方法(lazy-init 预实例化除外)向 Spring IOC 容器索取指定 Bean 时触发 Spring IOC 容器创建 Bean 实例对象并进行依赖注入的过程，其中真正实现创建 Bean 对象并进行依赖注入的方法是 AbstractAutowireCapableBeanFactory 类的 doCreateBean()方法，主要源码如下：

```
//真正创建 Bean 的方法
protected Object doCreateBean(final String beanName, final RootBeanDefinition mbd, final @Nullable Object[] args)
      throws BeanCreationException {

   //创建 Bean 实例对象

    ...
```

```
    Object exposedObject = bean;
    try {
        //对 Bean 属性进行依赖注入
        populateBean(beanName, mbd, instanceWrapper);
        //在对 Bean 实例对象生成和依赖注入完成以后，开始对 Bean 实例对象
        //进行初始化 ，为 Bean 实例对象应用 BeanPostProcessor 后置处理器
        exposedObject = initializeBean(beanName, exposedObject, mbd);
    }
    catch (Throwable ex) {
        if (ex instanceof BeanCreationException && beanName.equals(((BeanCreationException) ex).getBeanName())) {
            throw (BeanCreationException) ex;
        }
        else {
            throw new BeanCreationException(
                  mbd.getResourceDescription(), beanName, "Initialization of bean failed", ex);
        }
    }

    ...

   //为应用返回所需要的实例对象
    return exposedObject;
}
```

从上面的代码中我们知道，为 Bean 实例对象添加 BeanPostProcessor 后置处理器的入口的是 initializeBean()方法。

### 3、initializeBean()方法为容器产生的 Bean 实例对象添加 BeanPostProcessor 后置处理器

同样在 AbstractAutowireCapableBeanFactory 类中，initializeBean()方法实现为容器创建的 Bean 实例对象添加 BeanPostProcessor 后置处理器，源码如下：

```
//初始容器创建的 Bean 实例对象，为其添加 BeanPostProcessor 后置处理器
protected Object initializeBean(final String beanName, final Object bean, @Nullable RootBeanDefinition mbd) {
    //JDK 的安全机制验证权限
    if (System.getSecurityManager() != null) {
        //实现 PrivilegedAction 接口的匿名内部类
        AccessController.doPrivileged((PrivilegedAction<Object>) () -> {
            invokeAwareMethods(beanName, bean);
            return null;
        }, getAccessControlContext());
    }
```

```
    else {
        //为 Bean 实例对象包装相关属性，如名称，类加载器，所属容器等信息
        invokeAwareMethods(beanName, bean);
    }

    Object wrappedBean = bean;
    //对 BeanPostProcessor 后置处理器的 postProcessBeforeInitialization
    //回调方法的调用，为 Bean 实例初始化前做一些处理
    if (mbd == null || !mbd.isSynthetic()) {
        wrappedBean = applyBeanPostProcessorsBeforeInitialization(wrappedBean, beanName);
    }

    //调用 Bean 实例对象初始化的方法，这个初始化方法是在 Spring Bean 定义配置
    //文件中通过 init-Method 属性指定的
    try {
        invokeInitMethods(beanName, wrappedBean, mbd);
    }
    catch (Throwable ex) {
        throw new BeanCreationException(
                (mbd != null ? mbd.getResourceDescription() : null),
                beanName, "Invocation of init Method failed", ex);
    }
    //对 BeanPostProcessor 后置处理器的 postProcessAfterInitialization
    //回调方法的调用，为 Bean 实例初始化之后做一些处理
    if (mbd == null || !mbd.isSynthetic()) {
        wrappedBean = applyBeanPostProcessorsAfterInitialization(wrappedBean, beanName);
    }

    return wrappedBean;
}

@Override
//调用 BeanPostProcessor 后置处理器实例对象初始化之前的处理方法
public Object applyBeanPostProcessorsBeforeInitialization(Object existingBean, String beanName)
        throws BeansException {
    Object result = existingBean;
    //遍历容器为所创建的 Bean 添加的所有 BeanPostProcessor 后置处理器
    for (BeanPostProcessor beanProcessor : getBeanPostProcessors()) {
        //调用 Bean 实例所有的后置处理中的初始化前处理方法，为 Bean 实例对象在
        //初始化之前做一些自定义的处理操作
        Object current = beanProcessor.postProcessBeforeInitialization(result, beanName);
        if (current == null) {
            return result;
        }
```

```
        result = current;
    }
    return result;
}

@Override
//调用 BeanPostProcessor 后置处理器实例对象初始化之后的处理方法
public Object applyBeanPostProcessorsAfterInitialization(Object existingBean, String beanName)
        throws BeansException {

    Object result = existingBean;
    //遍历容器为所创建的 Bean 添加的所有 BeanPostProcessor 后置处理器
    for (BeanPostProcessor beanProcessor : getBeanPostProcessors()) {
        //调用 Bean 实例所有的后置处理中的初始化后处理方法，为 Bean 实例对象在
        //初始化之后做一些自定义的处理操作
        Object current = beanProcessor.postProcessAfterInitialization(result, beanName);
        if (current == null) {
            return result;
        }
        result = current;
    }
    return result;
}
```

BeanPostProcessor 是一个接口，其初始化前的操作方法和初始化后的操作方法均委托其实现子类来实现，在 Spring 中，BeanPostProcessor 的实现子类非常的多，分别完成不同的操作，如：AOP 面向切面编程的注册通知适配器、Bean 对象的数据校验、Bean 继承属性、方法的合并等等，我们以最简单的 AOP 切面织入来简单了解其主要的功能。下面我们来分析其中一个创建 AOP 代理对象的子类 AbstractAutoProxyCreator 类。该类重写了 postProcessAfterInitialization()方法。

## 选择代理策略

进入 postProcessAfterInitialization()方法，我们发现调到了一个非常核心的方法 wrapIfNecessary()，其源码如下：

```
@Override
public Object postProcessAfterInitialization(@Nullable 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;
}
...

/**
 * Wrap the given bean if necessary, i.e. if it is eligible for being proxied.
 * @param bean the raw bean instance
 * @param beanName the name of the bean
 * @param cacheKey the cache key for metadata access
 * @return a proxy wrapping the bean, or the raw bean instance as-is
 */
protected Object wrapIfNecessary(Object bean, String beanName, Object cacheKey) {
   if (StringUtils.hasLength(beanName) && this.targetSourcedBeans.contains(beanName)) {
      return bean;
   }

   // 判断是否不应该代理这个 bean
   if (Boolean.FALSE.equals(this.advisedBeans.get(cacheKey))) {
      return bean;
   }
   /*
    * 判断是否是一些 InfrastructureClass 或者是否应该跳过这个 bean。
    * 所谓 InfrastructureClass 就是指 Advice/PointCut/Advisor 等接口的实现类。
    * shouldSkip 默认实现为返回 false,由于是 protected 方法，子类可以覆盖。
    */
   if (isInfrastructureClass(bean.getClass()) || shouldSkip(bean.getClass(), beanName)) {
      this.advisedBeans.put(cacheKey, Boolean.FALSE);
      return bean;
   }

   // 获取这个 bean 的 advice
   // Create proxy if we have advice.
   Object[] specificInterceptors = getAdvicesAndAdvisorsForBean(bean.getClass(), beanName,
null);
   if (specificInterceptors != DO_NOT_PROXY) {
      this.advisedBeans.put(cacheKey, Boolean.TRUE);
      // 创建代理
      Object proxy = createProxy(
            bean.getClass(), beanName, specificInterceptors, new SingletonTargetSource(bean));
      this.proxyTypes.put(cacheKey, proxy.getClass());
```

```
      return proxy;
    }

    this.advisedBeans.put(cacheKey, Boolean.FALSE);
    return bean;
}
...
/**
 * Create an AOP proxy for the given bean.
 * @param beanClass the class of the bean
 * @param beanName the name of the bean
 * @param specificInterceptors the set of interceptors that is
 * specific to this bean (may be empty, but not null)
 * @param targetSource the TargetSource for the proxy,
 * already pre-configured to access the bean
 * @return the AOP proxy for the bean
 * @see #buildAdvisors
 */
protected Object createProxy(Class<?> beanClass, @Nullable String beanName,
      @Nullable Object[] specificInterceptors, TargetSource targetSource) {

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

    ProxyFactory proxyFactory = new ProxyFactory();
    proxyFactory.copyFrom(this);

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

    Advisor[] advisors = buildAdvisors(beanName, specificInterceptors);
    proxyFactory.addAdvisors(advisors);
    proxyFactory.setTargetSource(targetSource);
    customizeProxyFactory(proxyFactory);

    proxyFactory.setFrozen(this.freezeProxy);
```

```
    if (advisorsPreFiltered()) {
        proxyFactory.setPreFiltered(true);
    }

    return proxyFactory.getProxy(getProxyClassLoader());
}
```

整个过程跟下来，我发现最终调用的是 proxyFactory.getProxy()方法。到这里我们大概能够猜到 proxyFactory 有 JDK 和 CGLib 的，那么我们该如何选择呢？最终调用的是 DefaultAopProxyFactory 的 createAopProxy()方法：

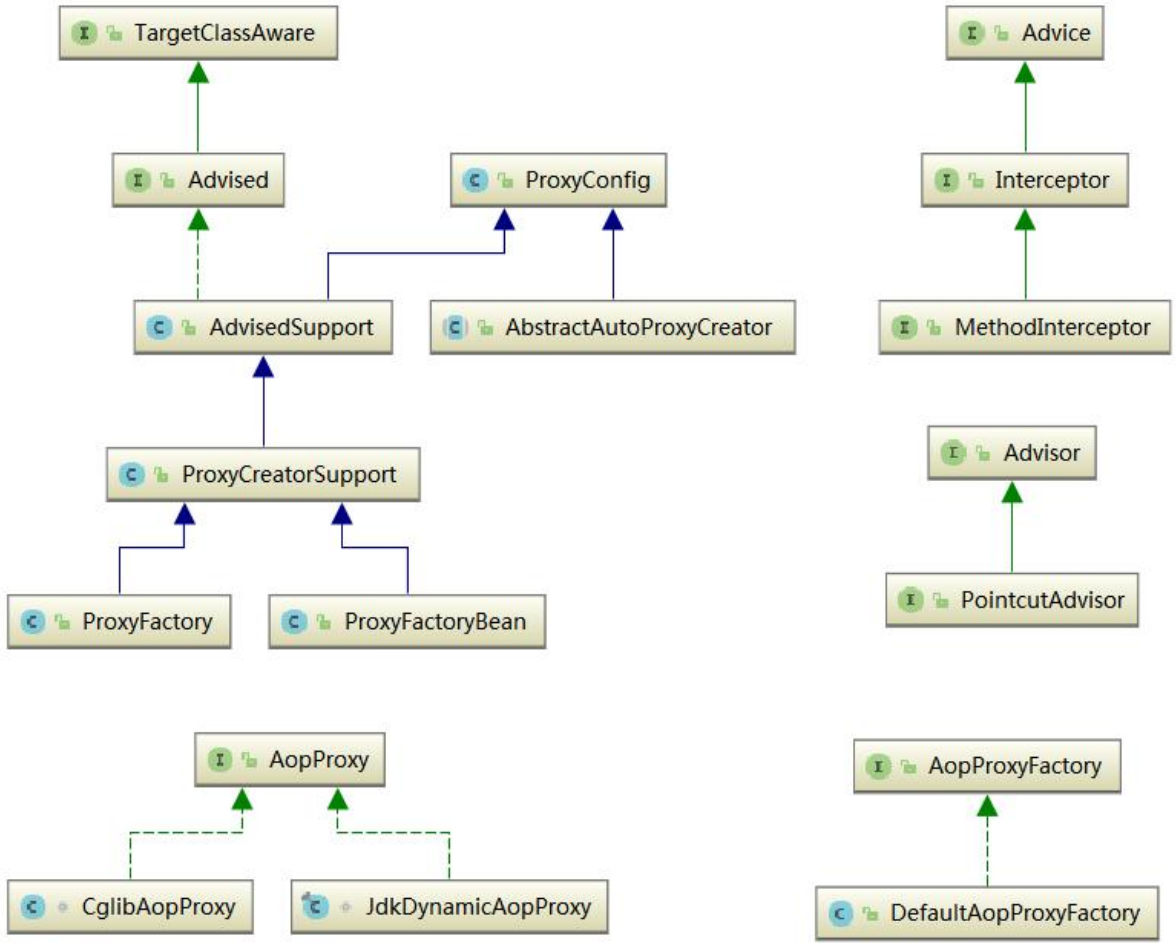
```
public class DefaultAopProxyFactory implements AopProxyFactory, Serializable {

    @Override
    public AopProxy createAopProxy(AdvisedSupport config) throws AopConfigException {
        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.");
            }
            if (targetClass.isInterface() || Proxy.isProxyClass(targetClass)) {
                return new JdkDynamicAopProxy(config);
            }
            return new ObjenesisCglibAopProxy(config);
        }
        else {
            return new JdkDynamicAopProxy(config);
        }
    }

    /**
     * Determine whether the supplied {@link AdvisedSupport} has only the
     * {@link org.springframework.aop.SpringProxy} interface specified
     * (or no proxy interfaces specified at all).
     */
    private boolean hasNoUserSuppliedProxyInterfaces(AdvisedSupport config) {
        Class<?>[] ifcs = config.getProxiedInterfaces();
        return (ifcs.length == 0 || (ifcs.length == 1 &&
SpringProxy.class.isAssignableFrom(ifcs[0])));
    }
}
```

## 调用代理方法

分析调用逻辑之前先上类图，看看 Spring 中主要的 AOP 组件：




上面我们已经了解到 Spring 提供了两种方式来生成代理方式有 JDKProxy 和 CGLib。下面我们来研究一下 Spring 如何使用 JDK 来生成代理对象，具体的生成代码放在 JdkDynamicAopProxy 这个类中，直接上相关代码：

```
/**
 * 获取代理类要实现的接口,除了 Advised 对象中配置的,还会加上 SpringProxy, Advised(opaque=false)
 * 检查上面得到的接口中有没有定义 equals 或者 hashcode 的接口
 * 调用 Proxy.newProxyInstance 创建代理对象
 */
@Override
public Object getProxy(@Nullable 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);
    return Proxy.newProxyInstance(classLoader, proxiedInterfaces, this);
}
```

通过注释我们应该已经看得非常明白代理对象的生成过程，此处不再赘述。下面的问题是，代理对象生成了，那切面是如何织入的?

我们知道 InvocationHandler 是 JDK 动态代理的核心，生成的代理对象的方法调用都会委托到 InvocationHandler.invoke()方法。而从 JdkDynamicAopProxy 的源码我们可以看到这个类其实也实现了 InvocationHandler，下面我们分析 Spring AOP 是如何织入切面的，直接上源码看 invoke()方法：

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

    TargetSource targetSource = this.advised.targetSource;
    Object target = null;

    try {
        //eqauls()方法，具目标对象未实现此方法
        if (!this.equalsDefined && AopUtils.isEqualsMethod(Method)) {
            return equals(args[0]);
        }
        //hashCode()方法，具目标对象未实现此方法
        else if (!this.hashCodeDefined && AopUtils.isHashCodeMethod(Method)) {
            return hashCode();
        }
        else if (Method.getDeclaringClass() == DecoratingProxy.class) {
            return AopProxyUtils.ultimateTargetClass(this.advised);
        }
        //Advised 接口或者其父接口中定义的方法,直接反射调用,不应用通知
        else if (!this.advised.opaque && Method.getDeclaringClass().isInterface() &&
                Method.getDeclaringClass().isAssignableFrom(Advised.class)) {
            return AopUtils.invokeJoinpointUsingReflection(this.advised, Method, args);
        }

        Object retVal;
```

```
    if (this.advised.exposeProxy) {
       oldProxy = AopContext.setCurrentProxy(proxy);
       setProxyContext = true;
    }

    //获得目标对象的类
    target = targetSource.getTarget();
    Class<?> targetClass = (target != null ? target.getClass() : null);

    //获取可以应用到此方法上的 Interceptor 列表
    List<Object> chain = this.advised.getInterceptorsAndDynamicInterceptionAdvice(Method, targetClass);

    //如果没有可以应用到此方法的通知(Interceptor)，此直接反射调用 Method.invoke(target, args)
    if (chain.isEmpty()) {
       Object[] argsToUse = AopProxyUtils.adaptArgumentsIfNecessary(Method, args);
       retVal = AopUtils.invokeJoinpointUsingReflection(target, Method, argsToUse);
    }
    else {
       //创建 MethodInvocation
       invocation = new ReflectiveMethodInvocation(proxy, target, Method, args, targetClass, chain);
       retVal = invocation.proceed();
    }

    Class<?> returnType = Method.getReturnType();
    if (retVal != null && retVal == target &&
          returnType != Object.class && returnType.isInstance(proxy) &&
          !RawTargetAccess.class.isAssignableFrom(Method.getDeclaringClass())) {
       retVal = proxy;
    }
    else if (retVal == null && returnType != Void.TYPE && returnType.isPrimitive()) {
       throw new AopInvocationException(
             "Null return value from advice does not match primitive return type for: " + Method);
    }
    return retVal;
 }
 finally {
    if (target != null && !targetSource.isStatic()) {
       targetSource.releaseTarget(target);
    }
    if (setProxyContext) {
       AopContext.setCurrentProxy(oldProxy);
    }
 }
```

```
}
```

主要实现思路可以简述为：首先获取应用到此方法上的通知链（Interceptor Chain）。如果有通知，则应用通知，并执行 JoinPoint；如果没有通知，则直接反射执行 JoinPoint。而这里的关键是通知链是如何获取的以及它又是如何执行的呢？现在来逐一分析。首先，从上面的代码可以看到，通知链是通过 Advised.getInterceptorsAndDynamicInterceptionAdvice()这个方法来获取的，我们来看下这个方法的实现逻辑：

```
public List<Object> getInterceptorsAndDynamicInterceptionAdvice(Method Method, @Nullable Class<?> targetClass)
{
   MethodCacheKey cacheKey = new MethodCacheKey(Method);
   List<Object> cached = this.MethodCache.get(cacheKey);
   if (cached == null) {
      cached = this.advisorChainFactory.getInterceptorsAndDynamicInterceptionAdvice(
            this, Method, targetClass);
      this.MethodCache.put(cacheKey, cached);
   }
   return cached;
}
```

通过上面的源码我们可以看到，实际获取通知的实现逻辑其实是由 AdvisorChainFactory 的 getInterceptorsAndDynamicInterceptionAdvice()方法来完成的，且获取到的结果会被缓存。下面来分析 getInterceptorsAndDynamicInterceptionAdvice()方法的实现：

```
/**
 * 从提供的配置实例 config 中获取 advisor 列表,遍历处理这些 advisor.如果是 IntroductionAdvisor,
 * 则判断此 Advisor 能否应用到目标类 targetClass 上.如果是 PointcutAdvisor,则判断
 * 此 Advisor 能否应用到目标方法 Method 上.将满足条件的 Advisor 通过 AdvisorAdaptor 转化成 Interceptor 列表返回.
 */
@Override
public List<Object> getInterceptorsAndDynamicInterceptionAdvice(
      Advised config, Method Method, @Nullable Class<?> targetClass) {

   List<Object> interceptorList = new ArrayList<>(config.getAdvisors().length);
   Class<?> actualClass = (targetClass != null ? targetClass : Method.getDeclaringClass());
   //查看是否包含 IntroductionAdvisor
   boolean hasIntroductions = hasMatchingIntroductions(config, actualClass);
   //这里实际上注册一系列 AdvisorAdapter,用于将 Advisor 转化成 MethodInterceptor
   AdvisorAdapterRegistry registry = GlobalAdvisorAdapterRegistry.getInstance();
```

```
   for (Advisor advisor : config.getAdvisors()) {
      if (advisor instanceof PointcutAdvisor) {
         PointcutAdvisor pointcutAdvisor = (PointcutAdvisor) advisor;
         if (config.isPreFiltered() || pointcutAdvisor.getPointcut().getClassFilter().matches(actualClass)) {
            //这个地方这两个方法的位置可以互换下
            //将 Advisor 转化成 Interceptor
            MethodInterceptor[] interceptors = registry.getInterceptors(advisor);
            //检查当前 advisor 的 pointcut 是否可以匹配当前方法
            MethodMatcher mm = pointcutAdvisor.getPointcut().getMethodMatcher();
            if (MethodMatchers.matches(mm, Method, actualClass, hasIntroductions)) {
               if (mm.isRuntime()) {
                  for (MethodInterceptor interceptor : interceptors) {
                     interceptorList.add(new InterceptorAndDynamicMethodMatcher(interceptor, mm));
                  }
               }
               else {
                  interceptorList.addAll(Arrays.asList(interceptors));
               }
            }
         }
      }
      else if (advisor instanceof IntroductionAdvisor) {
         IntroductionAdvisor ia = (IntroductionAdvisor) advisor;
         if (config.isPreFiltered() || ia.getClassFilter().matches(actualClass)) {
            Interceptor[] interceptors = registry.getInterceptors(advisor);
            interceptorList.addAll(Arrays.asList(interceptors));
         }
      }
      else {
         Interceptor[] interceptors = registry.getInterceptors(advisor);
         interceptorList.addAll(Arrays.asList(interceptors));
      }
   }

   return interceptorList;
}
```

这个方法执行完成后，Advised 中配置能够应用到连接点（JoinPoint）或者目标类（Target Object）的 Advisor 全部被转化成了 MethodInterceptor，接下来我们再看下得到的拦截器链是怎么起作用的。

```
if (chain.isEmpty()) {
   Object[] argsToUse = AopProxyUtils.adaptArgumentsIfNecessary(Method, args);
   retVal = AopUtils.invokeJoinpointUsingReflection(target, Method, argsToUse);
}
```

```
else {
   //创建 MethodInvocation
   invocation = new ReflectiveMethodInvocation(proxy, target, Method, args, targetClass, chain);
   retVal = invocation.proceed();
}
```

从这段代码可以看出，如果得到的拦截器链为空，则直接反射调用目标方法，否则创建 MethodInvocation，调用其 proceed()方法，触发拦截器链的执行，来看下具体代码:

```
public Object proceed() throws Throwable {
   //如果 Interceptor 执行完了，则执行 joinPoint
   if (this.currentInterceptorIndex == this.interceptorsAndDynamicMethodMatchers.size() - 1) {
      return invokeJoinpoint();
   }
   Object interceptorOrInterceptionAdvice =
         this.interceptorsAndDynamicMethodMatchers.get(++this.currentInterceptorIndex);
   //如果要动态匹配 joinPoint
      InterceptorAndDynamicMethodMatcher dm =
            (InterceptorAndDynamicMethodMatcher) interceptorOrInterceptionAdvice;
      //动态匹配：运行时参数是否满足匹配条件
      if (dm.MethodMatcher.matches(this.Method, this.targetClass, this.arguments)) {
         return dm.interceptor.invoke(this);
      }
      else {
         //动态匹配失败时,略过当前 Intercetpor,调用下一个 Interceptor
         return proceed();
      }
   }
   else {
      //执行当前 Intercetpor
      return ((MethodInterceptor) interceptorOrInterceptionAdvice).invoke(this);
   }
}
```

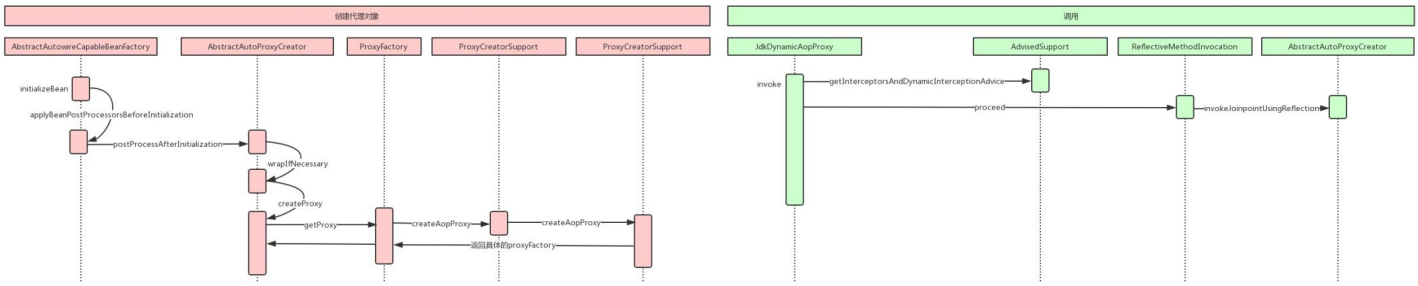
至此，通知链就完美地形成了。我们再往下来看 invokeJoinpointUsingReflection()方法，其实就是反射调用:

```
public static Object invokeJoinpointUsingReflection(@Nullable Object target, Method method,
Object[] args)
      throws Throwable {

   // Use reflection to invoke the method.
   try {
      ReflectionUtils.makeAccessible(method);
```

```
      return method.invoke(target, args);
   }
   catch (InvocationTargetException ex) {
      // Invoked method threw a checked exception.
      // We must rethrow it. The client won't see the interceptor.
      throw ex.getTargetException();
   }
   catch (IllegalArgumentException ex) {
      throw new AopInvocationException("AOP configuration seems to be invalid: tried calling
method [" +
            method + "] on target [" + target + "]", ex);
   }
   catch (IllegalAccessException ex) {
      throw new AopInvocationException("Could not access method [" + method + "]", ex);
   }
}
```

Spring AOP 源码就分析到这儿，相信小伙伴们应该有了基本思路，下面时序图来一波。




## 触发通知

在为 AopProxy 代理对象配置拦截器的实现中，有一个取得拦截器的配置过程，这个过程是由 DefaultAdvisorChainFactory 实现的，这个工厂类负责生成拦截器链，在它的 getInterceptorsAndDynamicInterceptionAdvice 方法中，有一个适配器和注册过程，通过配置 Spring 预先设计好的拦截器，Spring 加入了它对 AOP 实现的处理。

```
/**
 * 从提供的配置实例 config 中获取 advisor 列表,遍历处理这些 advisor.如果是 IntroductionAdvisor,
 * 则判断此 Advisor 能否应用到目标类 targetClass 上.如果是 PointcutAdvisor,则判断
 * 此 Advisor 能否应用到目标方法 Method 上.将满足条件的 Advisor 通过 AdvisorAdaptor 转化成 Interceptor 列表返回.
 */
@Override
public List<Object> getInterceptorsAndDynamicInterceptionAdvice(
      Advised config, Method Method, @Nullable Class<?> targetClass) {
```

```
    List<Object> interceptorList = new ArrayList<>(config.getAdvisors().length);
    Class<?> actualClass = (targetClass != null ? targetClass : Method.getDeclaringClass());
    //查看是否包含 IntroductionAdvisor
    boolean hasIntroductions = hasMatchingIntroductions(config, actualClass);
    //这里实际上注册一系列 AdvisorAdapter,用于将 Advisor 转化成 MethodInterceptor
    AdvisorAdapterRegistry registry = GlobalAdvisorAdapterRegistry.getInstance();

   ...

    return interceptorList;
}
```

GlobalAdvisorAdapterRegistry 负责拦截器的适配和注册过程。

```
public abstract class GlobalAdvisorAdapterRegistry {

    /**
     * Keep track of a single instance so we can return it to classes that request it.
     */
    private static AdvisorAdapterRegistry instance = new DefaultAdvisorAdapterRegistry();

    /**
     * Return the singleton {@link DefaultAdvisorAdapterRegistry} instance.
     */
    public static AdvisorAdapterRegistry getInstance() {
        return instance;
    }

    /**
     * Reset the singleton {@link DefaultAdvisorAdapterRegistry}, removing any
     * {@link AdvisorAdapterRegistry#registerAdvisorAdapter(AdvisorAdapter) registered}
     * adapters.
     */
    static void reset() {
        instance = new DefaultAdvisorAdapterRegistry();
    }

}
```

而 GlobalAdvisorAdapterRegistry 起到了适配器和单例模式的作用，提供了一个 DefaultAdvisorAdapterRegistry，它用来完成各种通知的适配和注册过程。

```
public class DefaultAdvisorAdapterRegistry implements AdvisorAdapterRegistry, Serializable
{
```

```
    private final List<AdvisorAdapter> adapters = new ArrayList<>(3);


    /**
     * Create a new DefaultAdvisorAdapterRegistry, registering well-known adapters.
     */
    public DefaultAdvisorAdapterRegistry() {
        registerAdvisorAdapter(new MethodBeforeAdviceAdapter());
        registerAdvisorAdapter(new AfterReturningAdviceAdapter());
        registerAdvisorAdapter(new ThrowsAdviceAdapter());
    }


    @Override
    public Advisor wrap(Object adviceObject) throws UnknownAdviceTypeException {
        if (adviceObject instanceof Advisor) {
            return (Advisor) adviceObject;
        }
        if (!(adviceObject instanceof Advice)) {
            throw new UnknownAdviceTypeException(adviceObject);
        }
        Advice advice = (Advice) adviceObject;
        if (advice instanceof MethodInterceptor) {
            // So well-known it doesn't even need an adapter.
            return new DefaultPointcutAdvisor(advice);
        }
        for (AdvisorAdapter adapter : this.adapters) {
            // Check that it is supported.
            if (adapter.supportsAdvice(advice)) {
                return new DefaultPointcutAdvisor(advice);
            }
        }
        throw new UnknownAdviceTypeException(advice);
    }

    @Override
    public MethodInterceptor[] getInterceptors(Advisor advisor) throws
UnknownAdviceTypeException {
        List<MethodInterceptor> interceptors = new ArrayList<>(3);
        Advice advice = advisor.getAdvice();
        if (advice instanceof MethodInterceptor) {
            interceptors.add((MethodInterceptor) advice);
        }
        for (AdvisorAdapter adapter : this.adapters) {
```

```
        if (adapter.supportsAdvice(advice)) {
          interceptors.add(adapter.getInterceptor(advisor));
        }
      }
      if (interceptors.isEmpty()) {
        throw new UnknownAdviceTypeException(advisor.getAdvice());
      }
      return interceptors.toArray(new MethodInterceptor[interceptors.size()]);
    }

    @Override
    public void registerAdvisorAdapter(AdvisorAdapter adapter) {
      this.adapters.add(adapter);
    }

}
```

DefaultAdvisorAdapterRegistry 设置了一系列的是配置，正是这些适配器的实现，为 Spring AOP 提供了编织能力。下面以 MethodBeforeAdviceAdapter 为例，看具体的实现：

```
class MethodBeforeAdviceAdapter implements AdvisorAdapter, Serializable {

    @Override
    public boolean supportsAdvice(Advice advice) {
      return (advice instanceof MethodBeforeAdvice);
    }

    @Override
    public MethodInterceptor getInterceptor(Advisor advisor) {
      MethodBeforeAdvice advice = (MethodBeforeAdvice) advisor.getAdvice();
      return new MethodBeforeAdviceInterceptor(advice);
    }

}
```

Spring AOP 为了实现 advice 的织入，设计了特定的拦截器对这些功能进行了封装。我们接着看 MethodBeforeAdviceInterceptor 如何完成封装的?

```
public class MethodBeforeAdviceInterceptor implements MethodInterceptor, Serializable {

    private MethodBeforeAdvice advice;
```

```
    /**
     * Create a new MethodBeforeAdviceInterceptor for the given advice.
     * @param advice the MethodBeforeAdvice to wrap
     */
    public MethodBeforeAdviceInterceptor(MethodBeforeAdvice advice) {
        Assert.notNull(advice, "Advice must not be null");
        this.advice = advice;
    }

    @Override
    public Object invoke(MethodInvocation mi) throws Throwable {
        this.advice.before(mi.getMethod(), mi.getArguments(), mi.getThis() );
        return mi.proceed();
    }

}
```

可以看到，invoke 方法中，首先触发了 advice 的 before 回调，然后才是 proceed。

AfterReturningAdviceInterceptor 的源码：

```
public class AfterReturningAdviceInterceptor implements MethodInterceptor, AfterAdvice,
Serializable {

    private final AfterReturningAdvice advice;


    /**
     * Create a new AfterReturningAdviceInterceptor for the given advice.
     * @param advice the AfterReturningAdvice to wrap
     */
    public AfterReturningAdviceInterceptor(AfterReturningAdvice advice) {
        Assert.notNull(advice, "Advice must not be null");
        this.advice = advice;
    }

    @Override
    public Object invoke(MethodInvocation mi) throws Throwable {
        Object retVal = mi.proceed();
        this.advice.afterReturning(retVal, mi.getMethod(), mi.getArguments(), mi.getThis());
        return retVal;
    }

}
```

ThrowsAdviceInterceptor 的源码：

```
public Object invoke(MethodInvocation mi) throws Throwable {
   try {
      return mi.proceed();
   }
   catch (Throwable ex) {
      Method handlerMethod = getExceptionHandler(ex);
      if (handlerMethod != null) {
         invokeHandlerMethod(mi, ex, handlerMethod);
      }
      throw ex;
   }
}

private void invokeHandlerMethod(MethodInvocation mi, Throwable ex, Method method) throws
Throwable {
   Object[] handlerArgs;
   if (method.getParameterCount() == 1) {
      handlerArgs = new Object[] { ex };
   }
   else {
      handlerArgs = new Object[] {mi.getMethod(), mi.getArguments(), mi.getThis(), ex};
   }
   try {
      method.invoke(this.throwsAdvice, handlerArgs);
   }
   catch (InvocationTargetException targetEx) {
      throw targetEx.getTargetException();
   }
}
```

至此，我们知道了对目标对象的增强是通过拦截器实现的，最后还是上时序图：