05 | 渲染流程（上）：HTML、CSS和JavaScript，是如何变成页面的?

2019-08-15 李兵

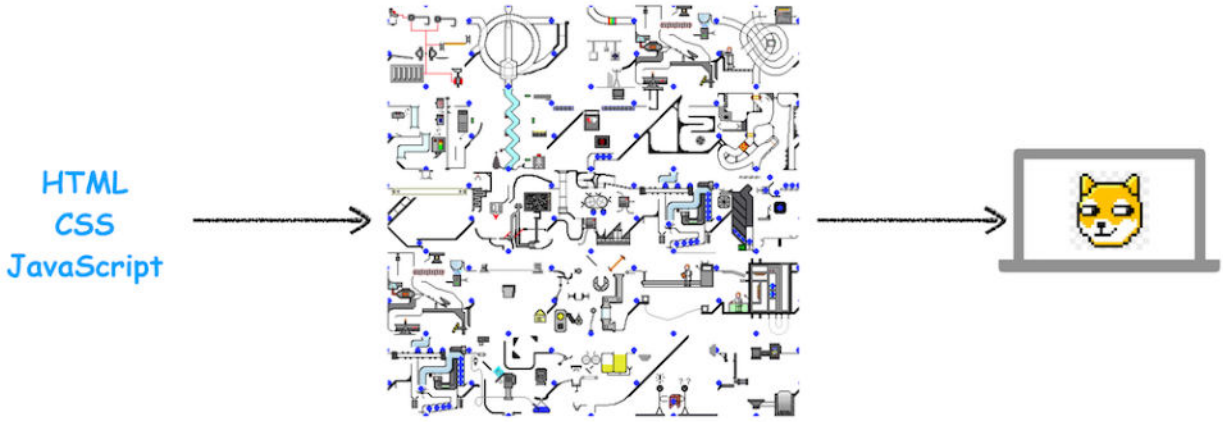
《浏览器工作原理与实践》 课程介绍 >

讲述：李兵
时长 13:11 大小 10.57M

在上一篇文章中我们介绍了导航相关的流程，那导航被提交后又会怎么样呢？就进入了渲染阶段。这个阶段很重要，了解其相关流程能让你“看透”页面是如何工作的，有了这些知识，你可以解决一系列相关的问题，比如能熟练使用开发者工具，因为能够理解开发者工具里面大部分项目的含义，能优化页面卡顿问题，使用 JavaScript 优化动画流程，通过优化样式表来防止强制同步布局，等等。

既然它的功能这么强大，那么今天，我们就来好好聊聊**渲染流程**。

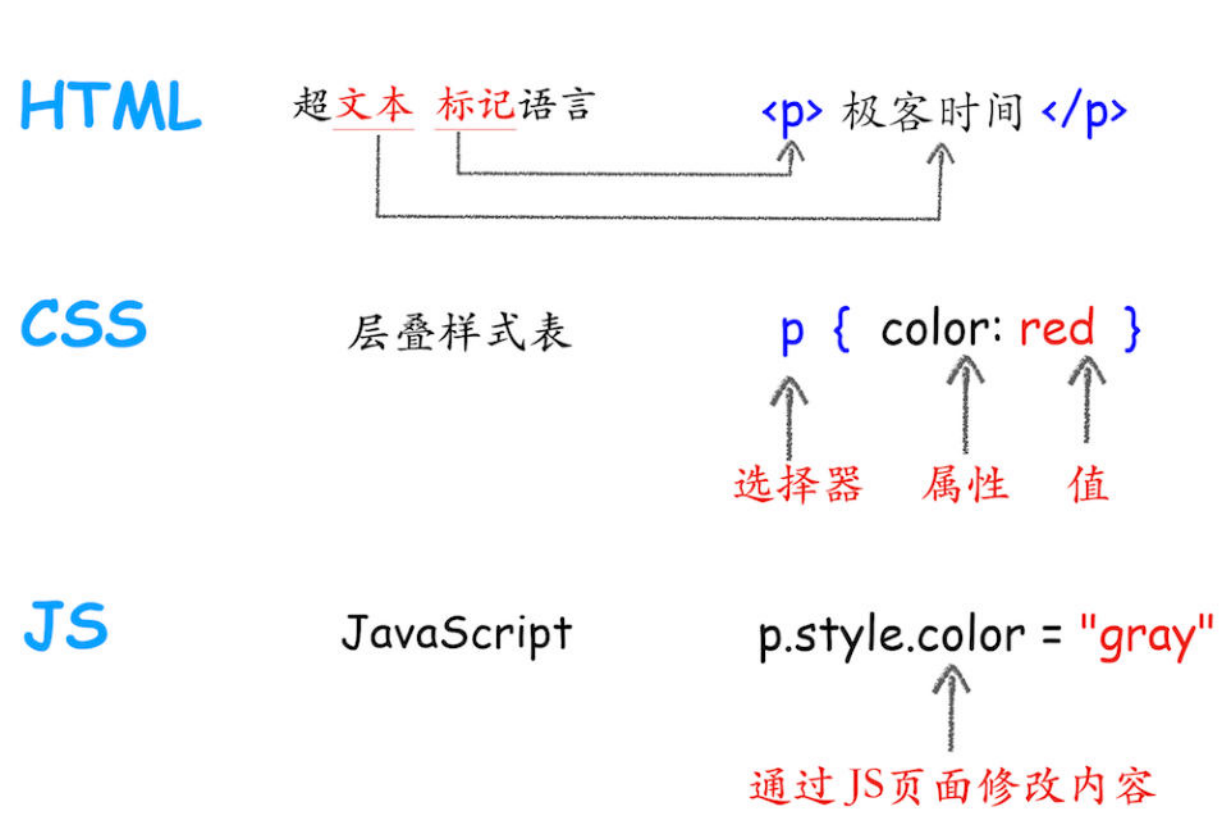
通常，我们编写好 HTML、CSS、JavaScript 等文件，经过浏览器就会显示出漂亮的页面（如下图所示），但是你知道它们是如何转化成页面的吗？这背后的原理，估计很多人都答不上来。



渲染流程示意图

从图中可以看出，左边输入的是 HTML、CSS、JavaScript 数据，这些数据经过中间渲染模块的处理，最终输出为屏幕上的像素。

这中间的**渲染模块**就是我们今天要讨论的主题。为了能更好地理解下文，你可以先结合下图快速抓住 HTML、CSS 和 JavaScript 的含义：



HTML、CSS 和 JavaScript 关系图

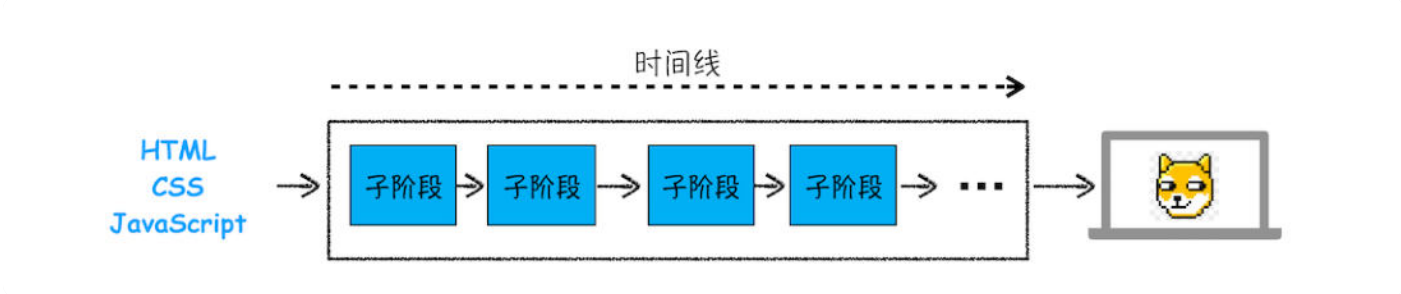
从上图可以看出，**HTML 的内容是由标记和文本组成**。标记也称为**标签**，每个标签都有它自己的语义，浏览器会根据标签的语义来正确展示 HTML 内容。比如上面的<p>标签是告诉浏览器在这里的内容需要创建一个新段落，中间的文本就是段落中需要显示的内容。

如果需要改变 HTML 的字体颜色、大小等信息，就需要用到 CSS。CSS 又称为**层叠样式表，是由选择器和属性组成**，比如图中的 p 选择器，它会把 HTML 里面<p>标签的内容选择出来，然后再把选择器的属性值应用到<p>标签内容上。选择器里面有个 color 属性，它的值是 red，这是告诉渲染引擎把<p>标签的内容显示为红色。

至于 **JavaScript（简称为 JS），使用它可以使网页的内容“动”起来**，比如上图中，可以通过 JavaScript 来修改 CSS 样式值，从而达到修改文本颜色的目的。

搞清楚 HTML、CSS 和 JavaScript 的含义后，那么接下来我们就正式开始分析渲染模块了。

由于渲染机制过于复杂，所以渲染模块在执行过程中会被划分为很多子阶段，输入的 HTML 经过这些子阶段，最后输出像素。我们把这样的一个处理流程叫做**渲染流水线**，其大致流程如下图所示：



渲染流水线示意图

按照渲染的时间顺序，流水线可分为如下几个子阶段：构建 DOM 树、样式计算、布局阶段、分层、绘制、分块、光栅化和合成。内容比较多，我会用两篇文章来为你详细讲解这各个子阶段。接下来，在介绍每个阶段的过程中，你应该重点关注以下三点内容：

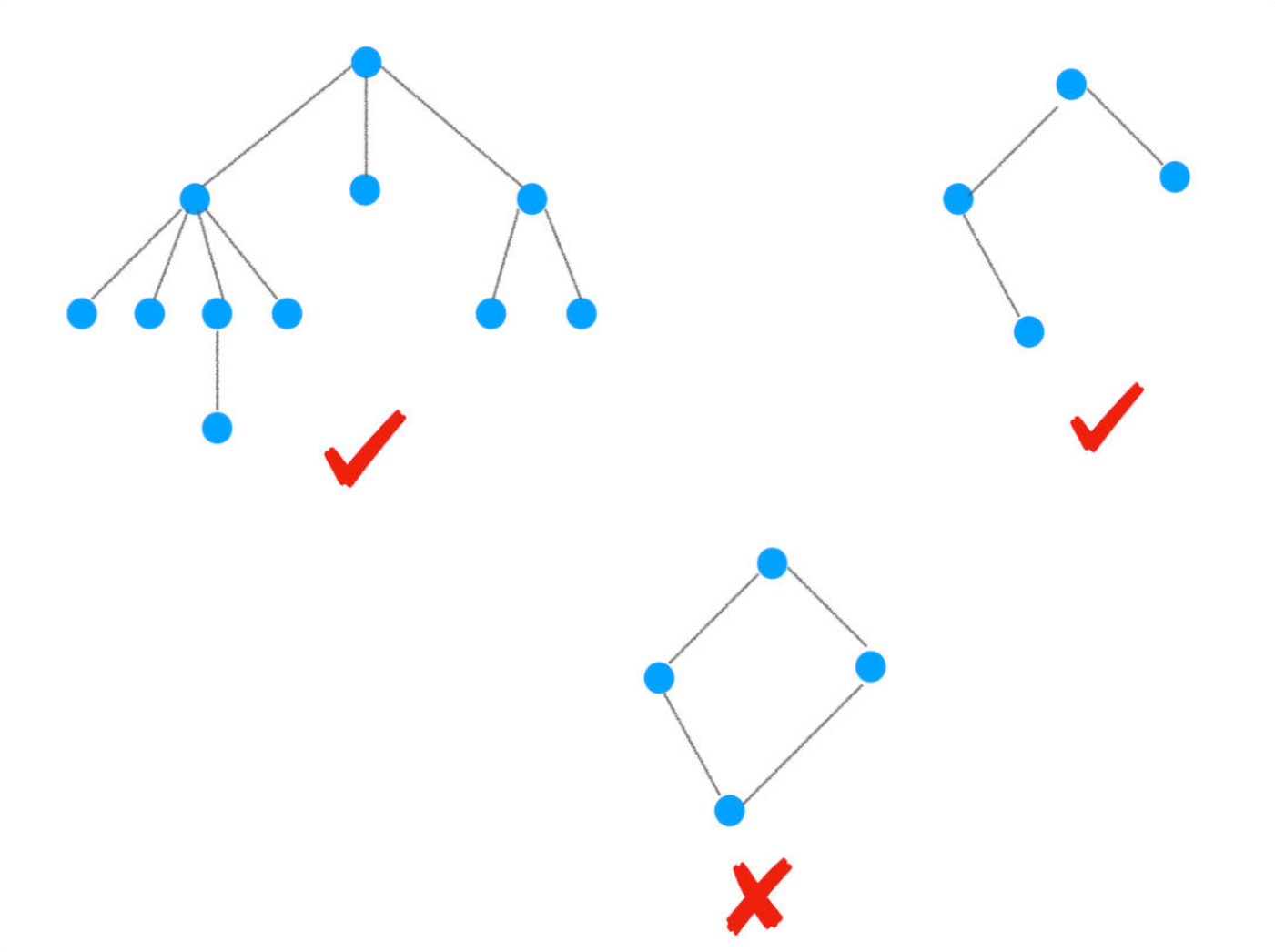
- 开始每个子阶段都有其**输入的内容**；
- 然后每个子阶段有其**处理过程**；
- 最终每个子阶段会生成**输出内容**。

理解了这三部分内容，能让你更加清晰地理解每个子阶段。

构建 DOM 树

为什么要构建 DOM 树呢？**这是因为浏览器无法直接理解和使用 HTML，所以需要将 HTML 转换为浏览器能够理解的结构——DOM 树**。

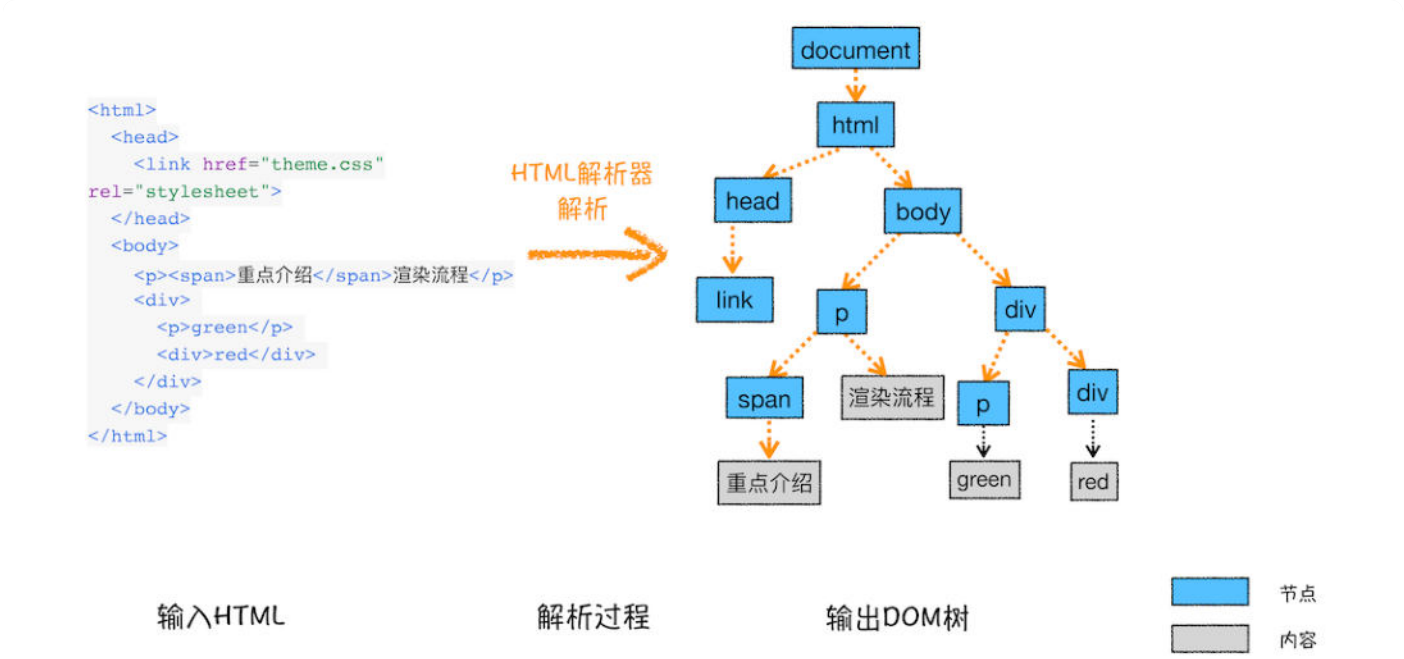
这里我们还需要简单介绍下什么是**树结构**，为了更直观地理解，你可以参考下面我画的几个树结构：



树结构示意图

从图中可以看出，树这种结构非常像我们现实生活中的“树”，其中每个点我们称为**节点**，相连的节点称为**父子节点**。树结构在浏览器中的应用还是比较多的，比如下面我们要介绍的渲染流程，就在频繁地使用树结构。

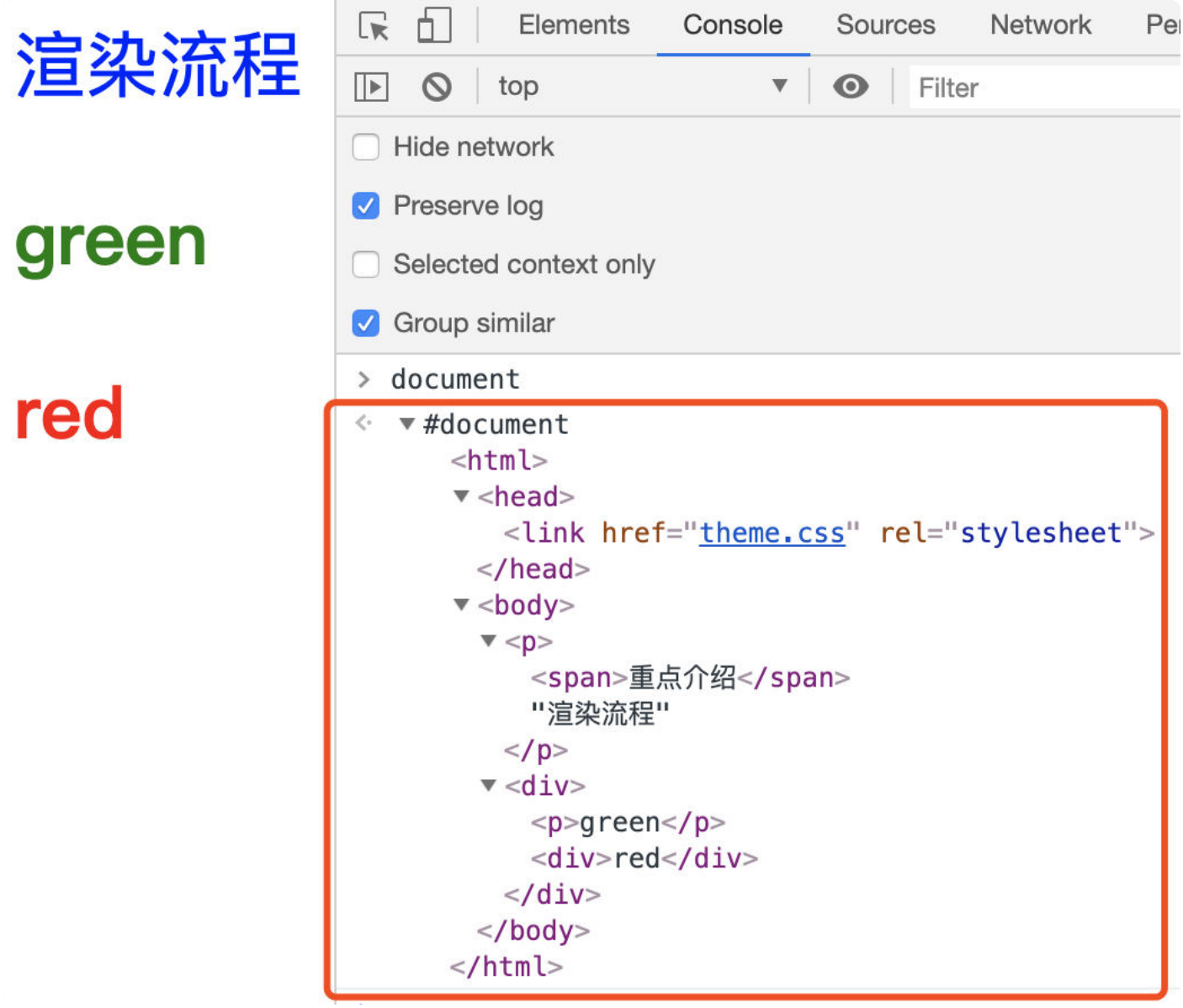
接下来咱们还是言归正传，来看看 DOM 树的构建过程，你可以参考下图：



DOM 树构建过程示意图

从图中可以看出，构建 DOM 树的**输入内容**是一个非常简单的 HTML 文件，然后经由 HTML 解析器解析，最终输出树状结构的 DOM。

为了更加直观地理解 DOM 树，你可以打开 Chrome 的“开发者工具”，选择“Console”标签来打开控制台，然后在控制台里面输入“document”后回车，这样你就能看到一个完整的 DOM 树结构，如下图所示：



DOM 可视化

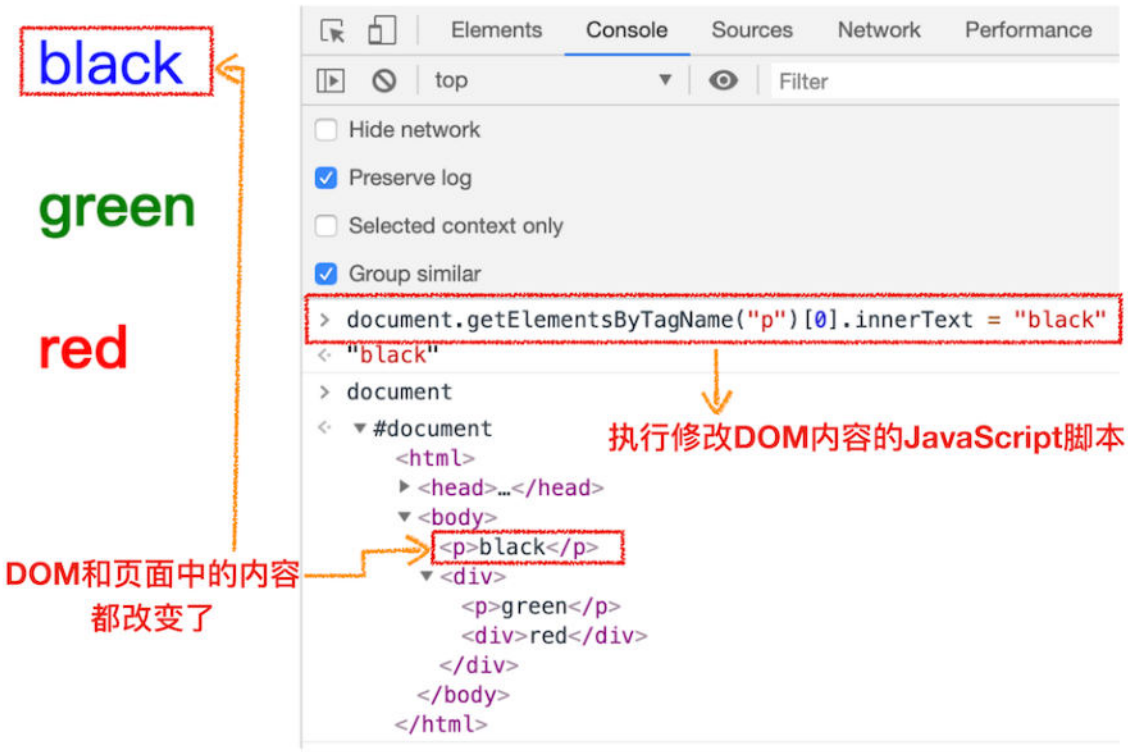
图中的 document 就是 DOM 结构，你可以看到，DOM 和 HTML 内容几乎是一样的，但是和 HTML 不同的是，DOM 是保存在内存中树状结构，可以通过 JavaScript 来查询或修改其内容。

那下面就来看看如何通过 JavaScript 来修改 DOM 的内容，在控制台中输入：

复制代码

```
1 document.getElementsByTagName("p")[0].innerText = "black"
```

这行代码的作用是把第一个<p>标签的内容修改为 black，具体执行结果你可以参考下图：



通过 JavaScript 修改 DOM

从图中可以看出，在执行了一段修改第一个<p>标签的 JavaScript 代码后，DOM 的第一个 p 节点的内容成功被修改，同时页面中的内容也被修改了。

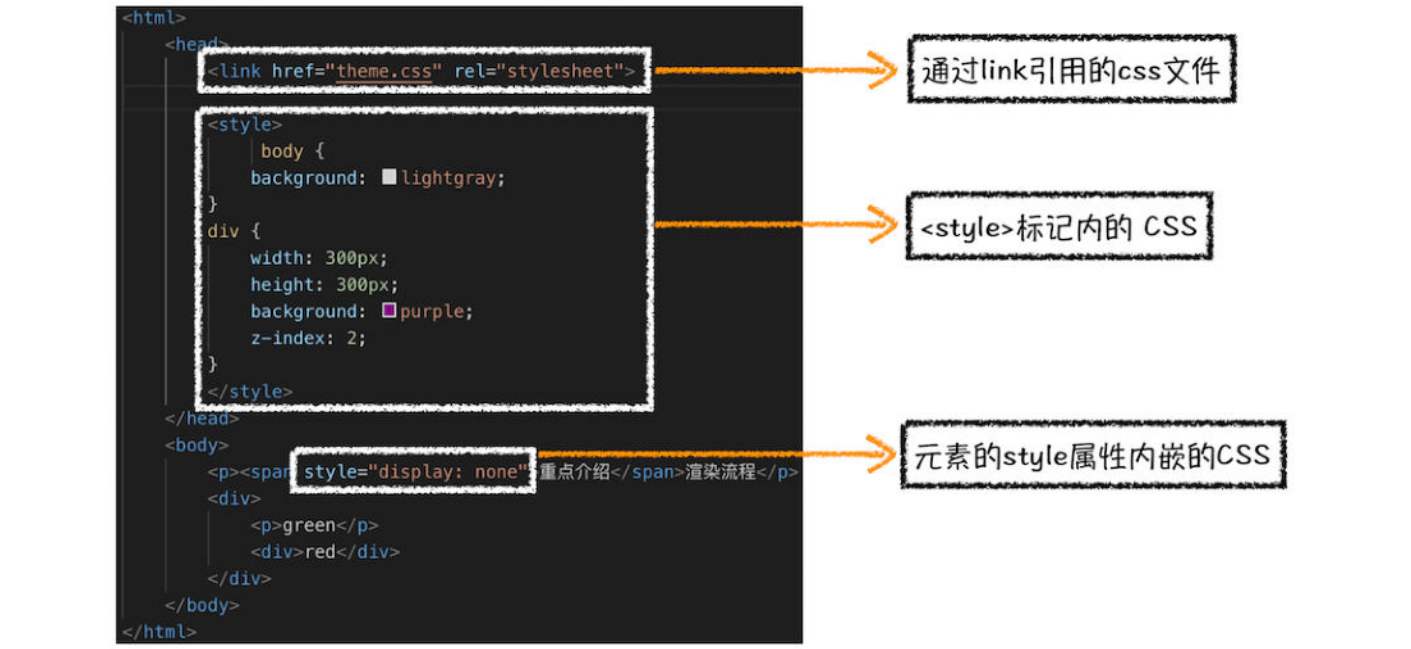
好了，现在我们已经生成 DOM 树了，但是 DOM 节点的样式我们依然不知道，要让 DOM 节点拥有正确的样式，这就需要样式计算了。

样式计算（Recalculate Style）

样式计算的目的是为了计算出 DOM 节点中每个元素的具体样式，这个阶段大体可分为三步来完成。

1. 把 CSS 转换为浏览器能够理解的结构

那 CSS 样式的来源主要有哪些呢？你可以先参考下图：



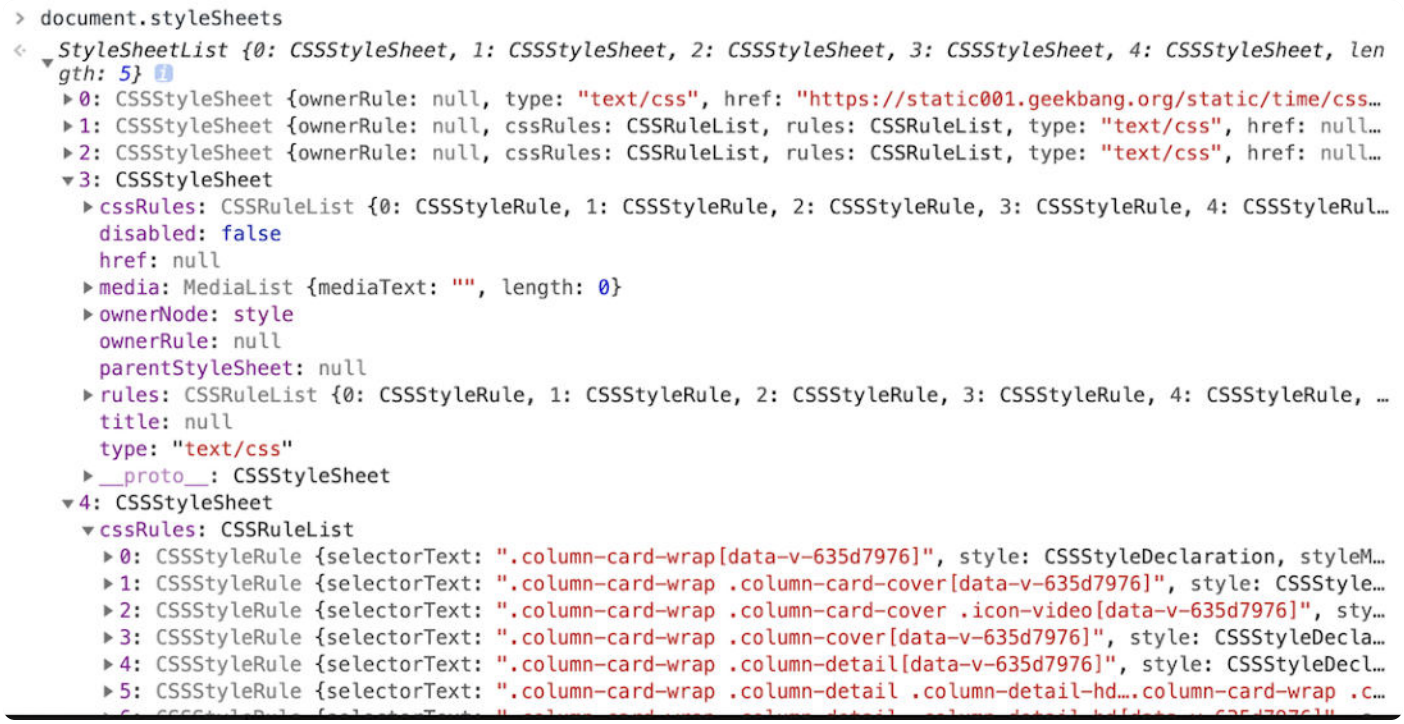
HTML 加载 CSS 的三种方式

从图中可以看出，CSS 样式来源主要有三种：

- 通过 link 引用的外部 CSS 文件
- `<style>`标记内的 CSS
- 元素的 style 属性内嵌的 CSS

和 HTML 文件一样，浏览器也是无法直接理解这些纯文本的 CSS 样式，所以**当渲染引擎接收到 CSS 文本时，会执行一个转换操作，将 CSS 文本转换为浏览器可以理解的结构——styleSheets**。

为了加深理解，你可以在 Chrome 控制台中查看其结构，只需要在控制台中输入 document.styleSheets，然后就看到如下图所示的结构：



styleSheets

从图中可以看出，这个样式表包含了很多种样式，已经把那三种来源的样式都包含进去了。当然样式表的具体结构不是我们今天讨论的重点，你只需要知道渲染引擎会把获取到的 CSS 文本全部转换为 styleSheets 结构中的数据，并且该结构同时具备了查询和修改功能，这会为后面的样式操作提供基础。

2. 转换样式表中的属性值，使其标准化

现在我们已经把现有的 CSS 文本转化为浏览器可以理解的结构了，那么**接下来就要对其进行属性值的标准化操作**。

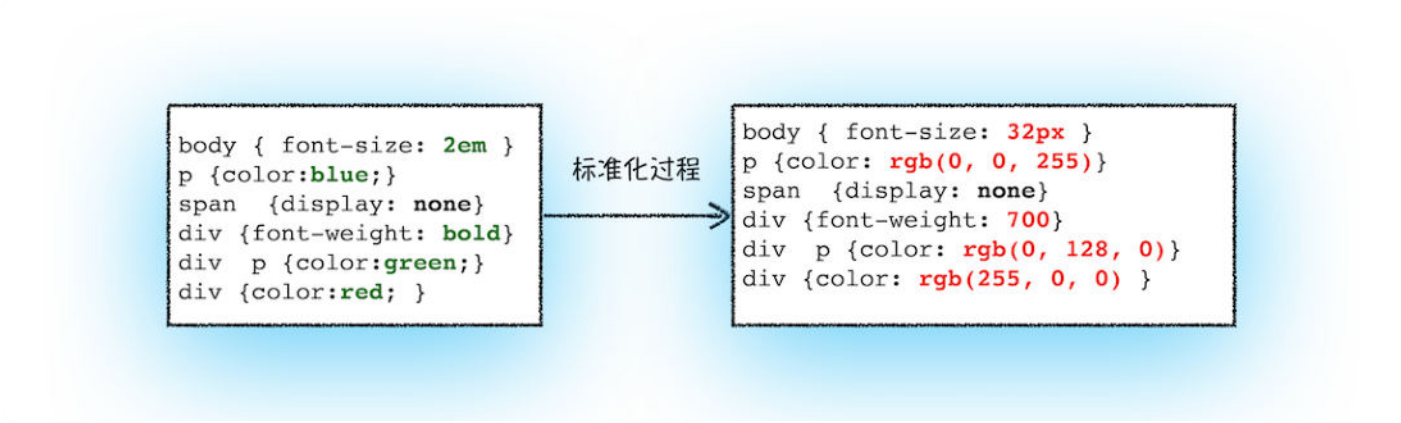
要理解什么是属性值标准化，你可以看下面这样一段 CSS 文本：

复制代码

```
body { font-size: 2em }
p {color:blue;}
span  {display: none}
div {font-weight: bold}
div  p {color:green;}
div {color:red; }
```

可以看到上面的 CSS 文本中有很多属性值，如 2em、blue、bold，这些类型数值不容易被渲染引擎理解，所以**需要将所有值转换为渲染引擎容易理解的、标准化的计算值**，这个过程就是属性值标准化。

那标准化后的属性值是什么样子的?



标准化属性值

从图中可以看到，2em 被解析成了 32px，red 被解析成了 rgb(255,0,0)，bold 被解析成了 700……

3. 计算出 DOM 树中每个节点的具体样式

现在样式的属性已被标准化了，接下来就需要计算 DOM 树中每个节点的样式属性了，如何计算呢?

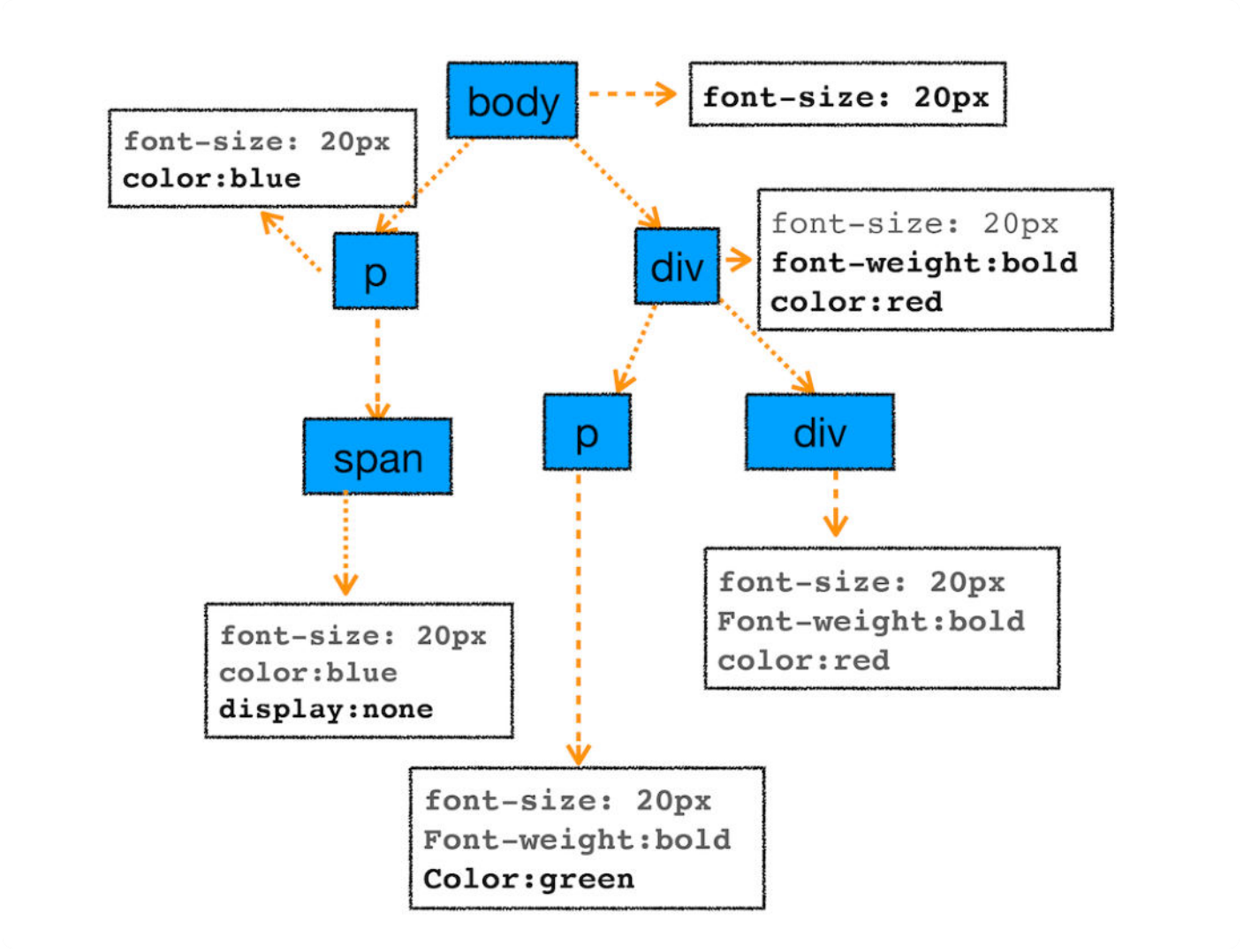
这就涉及到 CSS 的继承规则和层叠规则了。

首先是 CSS 继承。**CSS 继承就是每个 DOM 节点都包含有父节点的样式**。这么说可能有点抽象，我们可以结合具体例子，看下面这样一张样式表是如何应用到 DOM 节点上的。

复制代码

```
body { font-size: 20px }
p {color:blue;}
span  {display: none}
div {font-weight: bold;color:red}
div  p {color:green;}
```

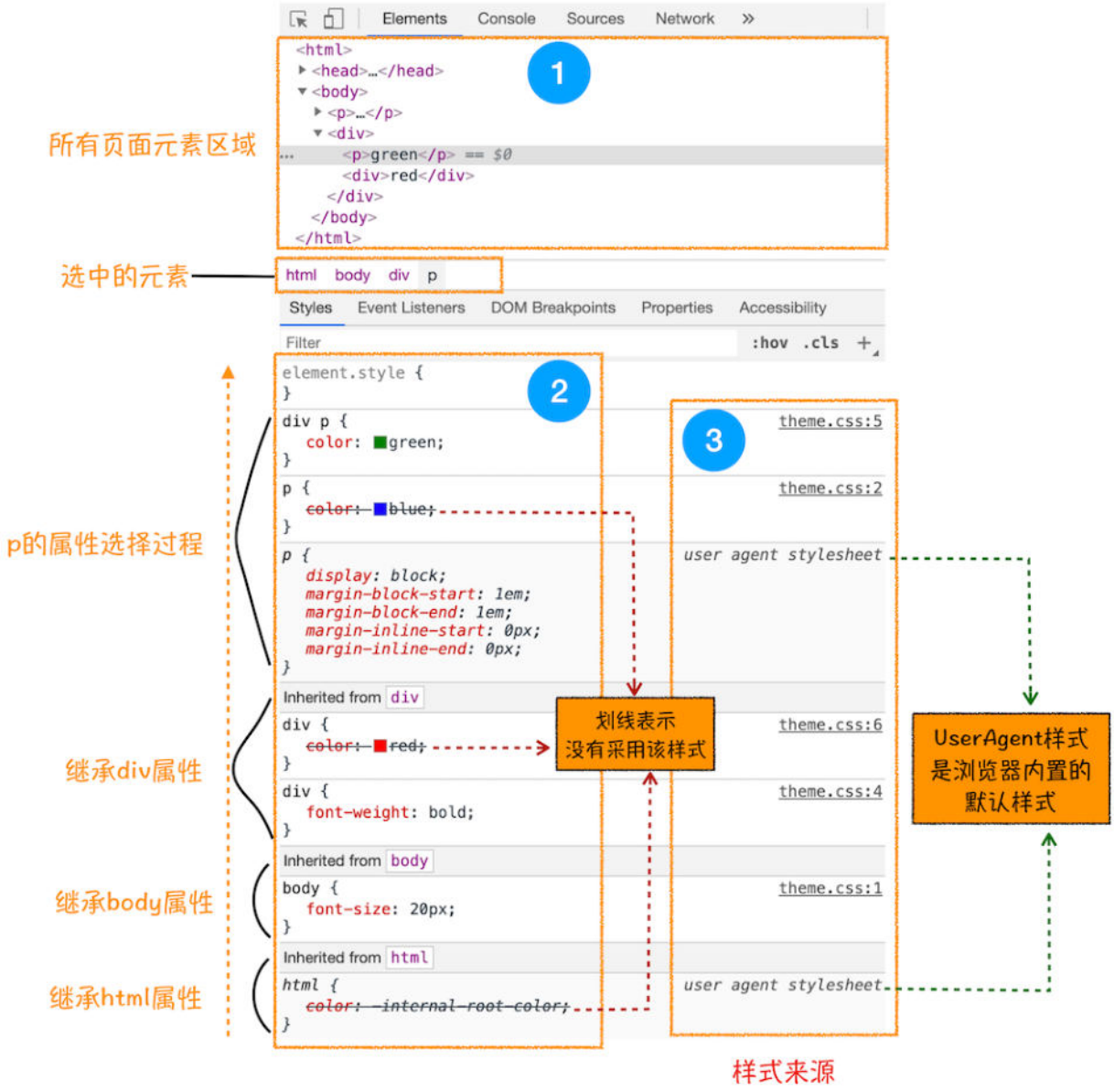
这张样式表最终应用到 DOM 节点的效果如下图所示：



计算后 DOM 的样式

从图中可以看出，所有子节点都继承了父节点样式。比如 body 节点的 font-size 属性是 20，那 body 节点下面的所有节点的 font-size 都等于 20。

为了加深你对 CSS 继承的理解，你可以打开 Chrome 的“开发者工具”，选择第一个“element”标签，再选择“style”子标签，你会看到如下界面：



样式的继承过程界面

这个界面展示的信息很丰富，大致可描述为如下。

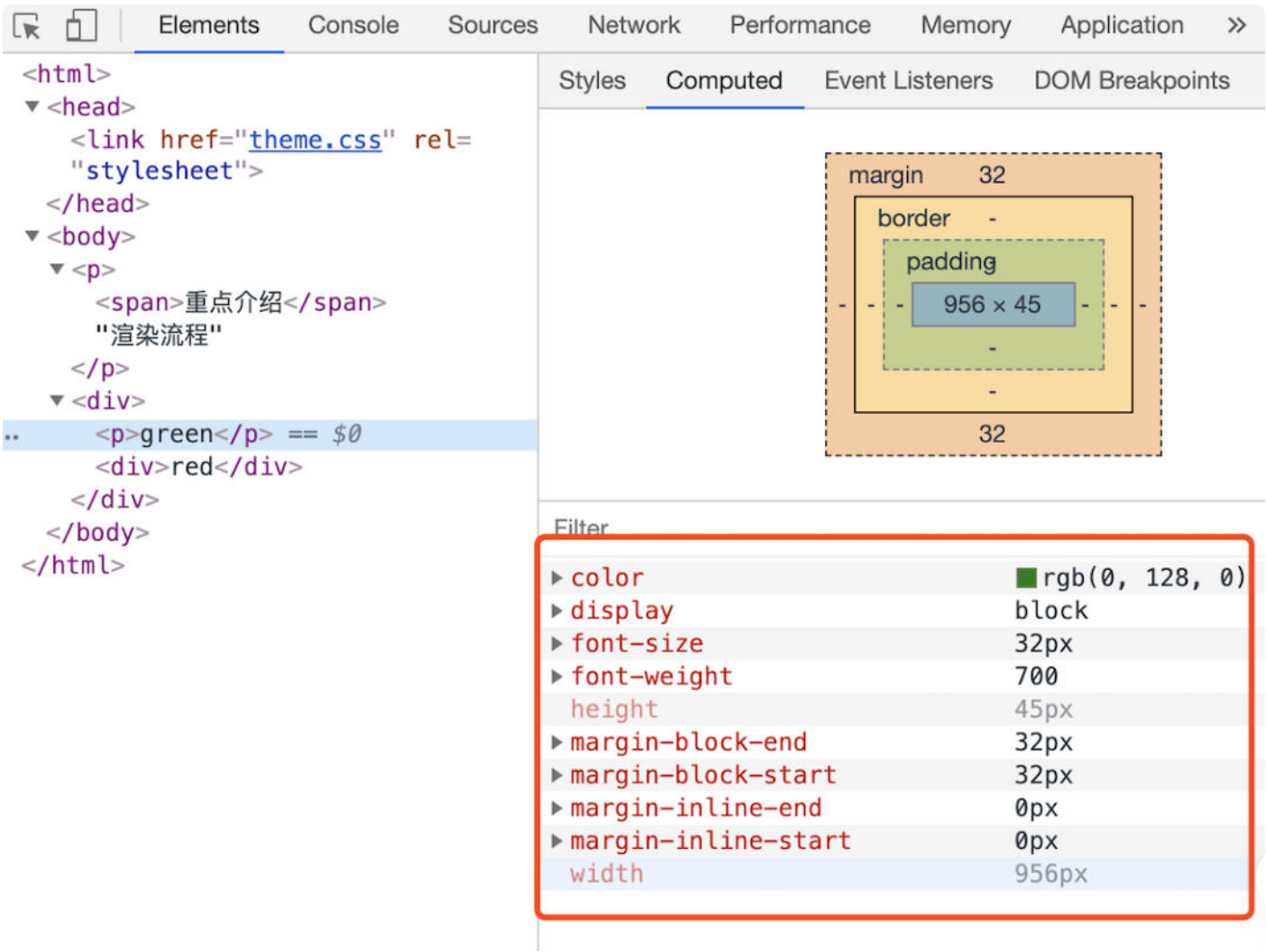
- 首先，可以选择要查看的**元素的样式（位于图中的区域 2 中）**，在图中的第 1 个区域中点击对应的元素，就可以在下面的区域查看该元素的样式了。比如这里我们选择的元素是<p>标签，位于 html.body.div. 这个路径下面。
- 其次，可以从**样式来源（位于图中的区域 3 中）**中查看样式的具体来源信息，看看是来源于样式文件，还是来源于 UserAgent 样式表。**这里需要特别提下 UserAgent 样式，它是浏览器提供的一组默认样式，如果你不提供任何样式，默认使用的就是 UserAgent 样式。**
- 最后，可以通过区域 2 和区域 3 来查看样式继承的具体过程。

以上就是 CSS 继承的一些特性，样式计算过程中，会根据 DOM 节点的继承关系来合理计算节点样式。

样式计算过程中的第二个规则是样式层叠。**层叠是 CSS 的一个基本特征，它是一个定义了如何合并来自多个源的属性值的算法。它在 CSS 处于核心地位，CSS 的全称“层叠样式表”正是强调了这一点**。关于层叠的具体规则这里就不做过多介绍了，网上资料也非常多，你可以自行搜索学习。

总之，样式计算阶段的目的是为了计算出 DOM 节点中每个元素的具体样式，在计算过程中需要遵守 CSS 的继承和层叠两个规则。这个阶段最终输出的内容是每个 DOM 节点的样式，并被保存在 ComputedStyle 的结构内。

如果你想了解每个 DOM 元素最终的计算样式，可以打开 Chrome 的“开发者工具”，选择第一个“element”标签，然后再选择“Computed”子标签，如下图所示：



DOM 元素最终计算的样式

上图红色方框中显示了 html.body.div.p 标签的 ComputedStyle 的值。你想要查看哪个元素，点击左边对应的标签就可以了。

布局阶段

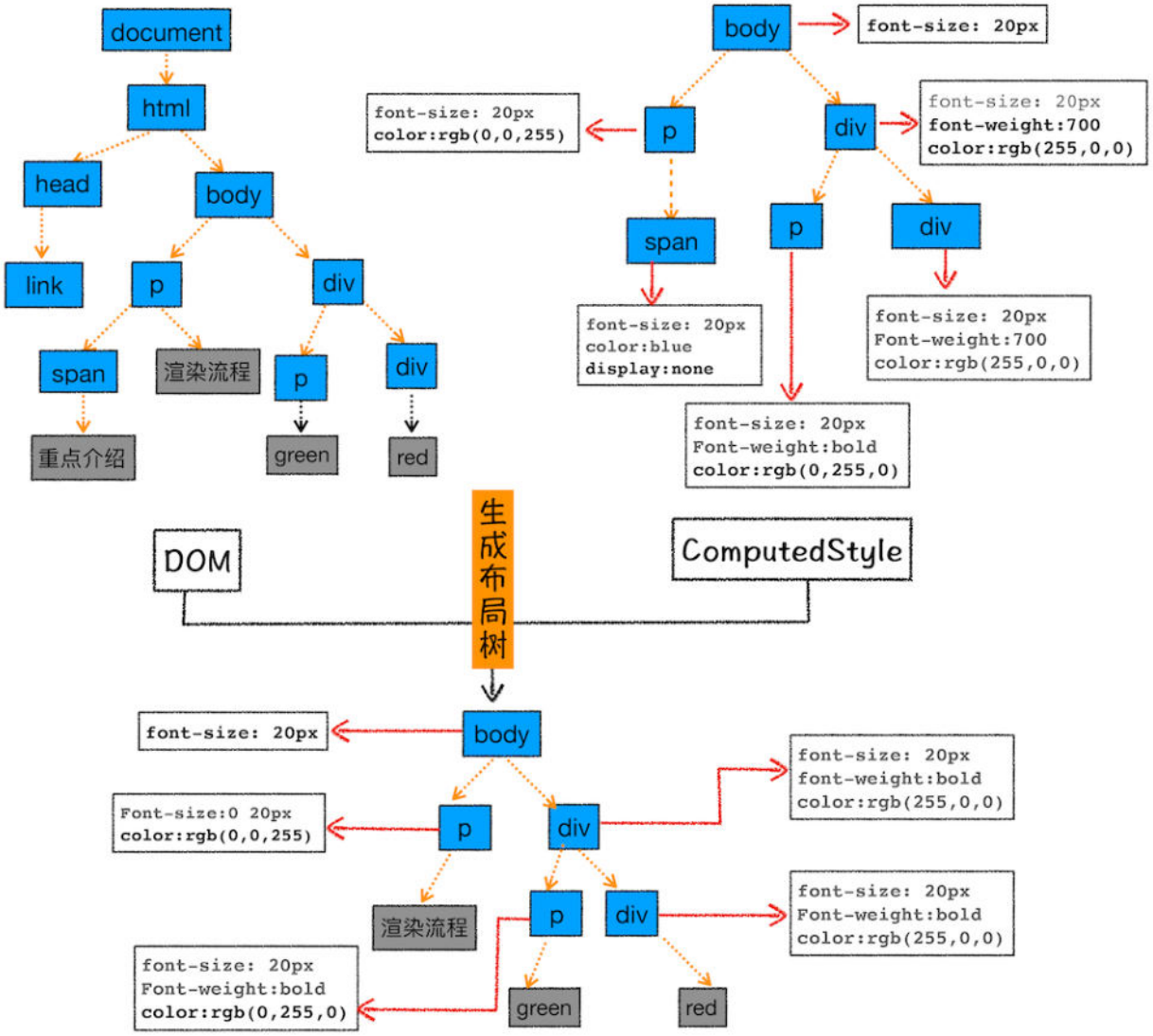
现在，我们有 DOM 树和 DOM 树中元素的样式，但这还不足以显示页面，因为我们还不知道 DOM 元素的几何位置信息。**那么接下来就需要计算出 DOM 树中可见元素的几何位置，我们把这个计算过程叫做布局**。

Chrome 在布局阶段需要完成两个任务：创建布局树和布局计算。

1. 创建布局树

你可能注意到了 DOM 树还含有很多不可见的元素，比如 head 标签，还有使用了 display:none 属性的元素。所以**在显示之前，我们还要额外地构建一棵只包含可见元素布局树**。

我们结合下图来看看布局树的构造过程：



布局树构造过程示意图

从上图可以看出，DOM 树中所有不可见的节点都没有包含到布局树中。

为了构建布局树，浏览器大体上完成了下面这些工作：

- 遍历 DOM 树中的所有可见节点，并把这些节点加到布局树中；
- 而不可见的节点会被布局树忽略掉，如 head 标签下面的全部内容，再比如 body.p.span 这个元素，因为它的属性包含 dispaly:none，所以这个元素也没有被包进布局树。

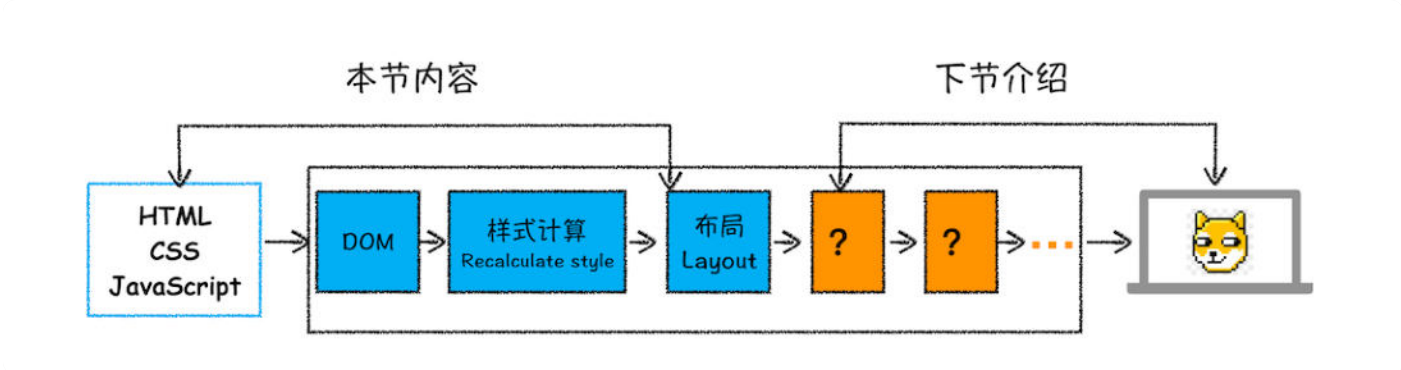
2. 布局计算

现在我们有了一棵完整的布局树。那么接下来，就要计算布局树节点的坐标位置了。布局的计算过程非常复杂，我们这里先跳过不讲，等到后面章节中我再做详细的介绍。

在执行布局操作的时候，会把布局运算的结果重新写回布局树中，所以布局树既是输入内容也是输出内容，这是布局阶段一个不合理的地方，因为在布局阶段并没有清晰地将输入内容和输出内容区分开来。针对这个问题，Chrome 团队正在重构布局代码，下一代布局系统叫 LayoutNG，试图更清晰地分离输入和输出，从而让新设计的布局算法更加简单。

总结

好了，今天正文就到这里，我画了下面这张比较完整的渲染流水线，你可以结合这张图来回顾下今天的内容。



渲染流水线图

从图中可以看出，本节内容我们介绍了渲染流程的前三个阶段：DOM 生成、样式计算和布局。要点可大致总结为如下：

- 浏览器不能直接理解 HTML 数据，所以第一步需要将其转换为浏览器能够理解的 DOM 树结构；
- 生成 DOM 树后，还需要根据 CSS 样式表，来计算出 DOM 树所有节点的样式；
- 最后计算 DOM 元素的布局信息，使其都保存在布局树中。

到这里我们的每个节点都拥有了自己的样式和布局信息，那么后面几个阶段就要利用这些信息去展示页面了，由于篇幅限制，剩下的这些阶段我会在下一篇文章中介绍。

思考时间

最后，给你留个思考题：如果下载 CSS 文件阻塞了，会阻塞 DOM 树的合成吗？会阻塞页面的显示吗？

欢迎在留言区与我分享你的想法，也欢迎你在留言区记录你的思考过程。感谢阅读，如果你觉得这篇文章对你有帮助的话，也欢迎把它分享给更多的朋友。

上一篇　04 | 导航流程：从输入URL到页面展示，这中间发生了什么?

下一篇　06 | 渲染流程（下）：HTML、CSS和JavaScript，是如何变成页面的?

精选留言 (66)

写留言

mfist

2019-08-15

关于下载css文件阻塞的问题，我理解
1 不会阻塞dom树的构建，原因Html转化为dom树的过程，发现文件请求会交给网络进程去请求对应文件，渲染进程继续解析Html。
2 会阻塞页面的显示，当计算样式的时候需要等待css文件的资源进行层叠样式。资源阻塞了，会进行等待，直到网络超时，network直接报出相应错误，渲染进程继续层叠样式计算

作者回复: 借这里解答下留的题目：

当从服务器接收HTML页面的第一批数据时，DOM解析器就开始工作了，在解析过程中，如果遇到了JS脚本，如下所示：

```
<html>
    <body>
        极客时间
        <script>
        document.write("--foo")
        </script>
    </body>
</html>
```

那么DOM解析器会先执行JavaScript脚本，执行完成之后，再继续往下解析。

那么第二种情况复杂点了，我们内联的脚本替换成js外部文件，如下所示：

```
<html>
    <body>
        极客时间
        <script type="text/javascript" src="foo.js"></script>
    </body>
</html>
```

这种情况下，当解析到JavaScript的时候，会先暂停DOM解析，并下载foo.js文件，下载完成之后执行该段JS文件，然后再继续往下解析DOM。这就是JavaScript文件为什么会阻塞DOM渲染。

我们再看第三种情况，还是看下面代码：

```
<html>
    <head>
        <style type="text/css" src = "theme.css" />
    </head>
    <body>
        <p>极客时间</p>
        <script>
            let e = document.getElementsByTagName('p')[0]
            e.style.color = 'blue'
```

```
        </script>
    </body>
</html>
```

当我在JavaScript中访问了某个元素的样式，那么这时候就需要等待这个样式被下载完成才能继续往下执行，所以在这种情况下，CSS也会阻塞DOM的解析。

所以JS和CSS都有可能会阻塞DOM解析，关于详细信息我们会在后面的章节中详细介绍。

共 24 条评论> 225

Angus
2019-08-15

这节讲的有些过于省略了，好多东西没有深入去讲。我记得是DOM树和CSSOM树并行构建合成渲染树。从这个角度来说，不会阻塞DOM树的构建，但是会阻塞页面显示，因为页面显示需要完整的渲染树去完成布局计算。

作者回复: 和DOM不一样，在源码里面并没有CSSOM这个词，你说的CSSOM 应该是就是styleSheets，这个styleSheets是能直观感受的到的。

渲染树也是16年之前的东西了，现在的代码完全重构了，你可以把LayoutTree看成是渲染树，不过和之前的渲染树还是有一些差别的。

共 2 条评论> 76

海骅薯条
2019-08-20

下载CSS文件阻塞了，原则上会阻塞页面的显示，但是浏览器可以有自己的容错机制，例如下载超时后，均采用user-agent stylesheet 默认样式进行渲染就可以啦，虽然丑点，但是内容在HTML都显示出来啦

25

刘大夫
2020-05-25

这节讲的真好，什么 CSSOM、渲染树不是不讲，而是真的过时了，现在就是分层、光栅化和合成

共 1 条评论> 23

Been
2019-08-15

老师，渲染进程的工作原理您是从哪知道的，看浏览器的源码吗？ 有链接吗来一个

作者回复: 这个链接有一些参考资料你可以参考下：https://time.geekbang.org/column/article/116572

18

William

2019-08-15

请问老师，为什么没有清晰地将输入内容和输出内容区分开来不好，我们平时编码过程中，应该尽量做到将输入内容和输出内容区分开来吗?

作者回复: 分开来，结构会更加清晰，目前布局操作都是在主线程执行执行的，如果将布局的输入结构和输出结构分开来，那么可以在另外一个线程上执行布局操作，解析完把结果提交给主线程，这样会减轻主线程的压力。

所将输入结构和输出结构分开，后续就可以更好地重构渲染模块的代码了！

这也是Chrome渲染团队目前在做的一件事。

共 7 条评论>

14

man-moonth

2019-08-16

我打开chrome面板的performance，记录了页面的加载过程。想请教一个问题。
首先确认一下几个概念：
1. recalculatestyle过程是指生成computedStyle过程吗?
2. DOMContentLoaded事件标识浏览器已经完全加载了 HTML，DOM 树已经构建完毕。
我发现在DOMContentLoaded之前，生成computedStyle和构建DOM的过程是并行的。我之前的想法是，计算DOM节点的样式（computedStyle）的前置条件是构建DOM、CSS生成StyleSheets并完成属性值标准化，这样才能保证DOM节点样式的计算有条不紊。我的问题是：浏览器是如何并行处理构建DOM、生成computedStyle的流程的?

6

袋袋

2019-08-15

不阻塞dom合成，也不阻塞页面渲染，页面还是会生成，只不过没有样式而已，别忘了标签是有语义化的

共 3 条评论>

6

Aaaaaaaaaayou

2019-08-20

css继承中应该不是所有的属性都会继承吧

共 3 条评论> 5

悬炫
2019-08-28

DOM树的构建和样式计算都是在渲染进程的主线程上执行的，他们可以并行执行吗？如果可以的话，那他们是如何来实现并行的呢？是通过异步回调还是说用的是类似于Generator函数的协程呢？在css会阻塞dom树的构建的情况下，主线程是如何去暂停DOM树的构建，后期又是如何恢复DOM树的构建的呢？希望老师解答一下

共 2 条评论> 4

许童童
2019-08-15

如果下载 CSS 文件阻塞了，会阻塞 DOM 树的合成吗？会阻塞页面的显示吗？
不会阻塞DOM 树的合成，但会阻塞页面的显示。
DOM 树和CSSOM树是并行生成的，两个都完成后才进行布局树的生成，但如果期间有JS文件，那就需要等待JS文件加载并执行完成，JS也需要等待CSSOM树生成，因为JS可能操作DOM树和CSSOM树。

4

William
2019-08-15

思考题。不会，CSS阻塞了，DOM树照样能正常解析和渲染。猜测浏览器机制，会优先渲染DOM到页面上。平时网络不好时遇到过。

4

abson
2020-04-01

老师你好，我特意试了一下在HTML文件分别写了link、style和内联样式的形式引入css代码，然后在谷歌浏览器控制台上输出styleSheets的时候发现styleSheetList数组就只有两个，分别是link和style，内联样式是没有的。您本文说styleSheet会把三种css引入方式都显示出来这里是否是有别的依据支持呢？

共 2 条评论> 3

Hong
2021-04-17

提个建议哈，老师讲到专有名词的时候，如果能把对应的英文名标注一下就更好了，比如提到的渲染树LayoutTree，否则可能容易造成困扰；上面内容如果再能详细深入一些就更好了。

觉得前端开发如何按上面的内容来回答，面试官可能不会很满意，最后还是推荐一片经典详文
https://www.html5rocks.com/zh/tutorials/internals/howbrowserswork/

共 1 条评论> 3

ytd
2019-08-15

1，不会阻塞dom树生成，因为dom树只要把html下载下来后就可以生成了
2，会阻塞页面显示，浏览器需要等待下载样式表文件合成样式表，进行后面的样式计算。
但是实际观察chrome浏览器加载页面，即便某个样式文件因为网络错误不能下载，页面最终也会显示，是不是样式计算和后续的布局是一个反复的过程？即，先用浏览器默认样式和style标签内样式、内联样式合成并布局显示页面，等下载好外部样式表再次合成并布局。不知道这样理解对不对？另外，如果用户通过操作修改了样式，是不是合成和布局也需要重新进行？

共 1 条评论> 2

基础平台部-学习账号
2021-07-22

document.styleSheets接口只会返回引入和嵌入文档的样式表吧，不会返回内联样式，mdn有说明：https://developer.mozilla.org/zh-CN/docs/Web/API/Document/stylesheets

2

Geek_d95d52
2021-02-19

domtree 的 构建 和 css rule的生成 是 串行 还是并行

共 1 条评论> 1

余熙
2020-12-17

请问老师的插图是用什么软件画的呢?
每张图风格都不一样，老师的插图好丰富生动，对帮助理解提升好大。

1

tomision
2020-02-10

老师，有个问题：

前端优化中总是告诉我们将 <script> 标签放在 </body> 的前面，即页面的最底部；

除了放在顶部执行的时候可能获取不到想要的 dom 元素之外，放在底部其实也会阻塞 DOM 解析?

所以 DOM 解析是一点点渲染出来的还是一次性渲染出来的？如果是等待全部解析完成，再提交进入后续的流程，那其实 <script> 标签放在页面底部的价值呢？

共 2 条评论 >　　2

Geek_012295

2019-12-23

老师您用的是什么作图软件，可以告知一下吗？

共 1 条评论 >　　1