1. 数据存量

在压测开始之前，编写了一些造业务数据的程序，用于提供Load Runner进行压测时使用。第一轮和第二轮测试前，数据存量对比如下：

Biz	1st	2nd
客户数量-sys_selfcustomer	100	300
用户数量-sys_selfuser	2599	5299
订单记录-order_info	51980	214271
交易记录-money_record	44335	92348
报警信息-ecsc_alarmmessage	50028	175029
网络-cloud_network	5000	5000
路由-cloud_route	5000	5000
子网-cloud_subnetwork	25000	25000
云主机-cloud_vm	25000	50000
云硬盘-cloud_volume	5000	10000
云硬盘快照-cloud_disksnapshot	25000	25000
bandwith.network.incoming.detail	24140	24140
bandwith.network.outgoing.detail	24140	24140

第二轮数据比第一轮普遍多，原因在于第一轮造数之后被同步的计划任务干掉了一些，后面又重复造了数据。

2. 第一次调整优化

第一次调整优化，是建立在第一轮压测结果普遍不理想的情况下：

Transaction Name	SLA Status	Minimum	Average	Maximum	Std. Deviation	90 Percent	Pass	Fail	Stop
creat_flag		4.945	163.875	461.548	100.116	292.423	555	0	0
creat_flagclass		0.838	161.304	407.667	97.394	276.39	555	0	0
creat_workorder		0.366	63.82	257.991	46.542	122.749	555	0	0
login_in		0.146	15.016	109.024	17.25	40.227	702	0	0
login_out		0.138	17.733	101.18	19.093	42.408	700	0	0
select_baojingxinxi		0.292	46.013	248.317	39.162	98.224	11,770	98	0
select_dingdanquanli		0.817	47.37	264.602	39.353	98.917	3,066	6	0
select_feiyongbaobiao		0.685	46.025	252.147	40.751	99.02	3,067	5	0
select_Netresources		0.305	18.868	128.042	20.719	42.161	3,065	7	0
select_Pnetwork		1.582	74.022	279.268	40.584	124.641	7,598	5	0
select_Snapshot		1.218	47.053	211.885	25.061	72.377	7,586	17	0
select_Vdisk		0.961	46.308	228.087	28.539	79.957	7,597	6	0
select_vm		0.399	54.498	307.386	40.101	106.66	7,596	7	0
select_VMresources		0.347	38.006	205.302	34.928	79.729	3,068	4	0
select_Volumeresources		0.544	38.983	193.968	35.626	82.615	3,068	4	0
select_zhanghuzonglan		0.745	48.572	236.018	42.1	105.015	3,062	10	0
select_ziyuanjiankong		0.608	48.495	297.094	41.4	103.15	11,777	91	0

图为第一次压测时700人并发压测2h的结果

主要考虑的方向是**配置参数的调整**，主要涉及三个方面：

- JDBC数据库连接池配置调整
- Tomcat配置调整
- MySQL配置调整

2.1 JDBC配置调整

在未做任何调整之前，我们的JDBC配置除了必要的url、用户名和密码信息，只有两个简单的参数：

```
jdbc.pool.maxActive=30
jdbc.pool.maxIdle=10
```

简单讲一下连个参数：

- maxActive - (int) The maximum number of active connections that can be allocated from this pool at the same time. The default value is 100
- maxIdle - (int) The maximum number of connections that should be kept in the pool at all times.

那么对于`maxActive`来讲，默认值是100，我们的ECSC配置的是30，显然是不合理的。对于`maxIdle`来说呢，我们使用的数据库连接池是阿里的Druid，其中该配置项是不建议使用的，所以我们要弃之。此外引入的是`initialSize`和`minIdle`，所以更改后的配置如下：

```
jdbc.pool.initialSize=30 //初始连接池的连接数
jdbc.pool.minIdle=50  //连接池始终建立的最小连接数
jdbc.pool.maxActive=300 //连接池的最大连接数
```

修改JDBC配置的目的是提高同时建立的数据库连接池连接数，增加处理能力，效果十分明显，查看MySQL连接数，在压力测试时，能最多使用738个连接，相比之前最大使用了277个连接，是有了长足的进步。

```
mysql> show status like 'max%connections';
+----------------------+-------+
| Variable_name        | Value |
+----------------------+-------+
| Max_used_connections | 738   |
+----------------------+-------+
1 row in set (0.00 sec)
```

> Tips: JDBC Pool Common Attributes

2.2 Tomcat配置调整

之前的Tomcat默认使用了BIO，也没有开启线程池，maxThreads=300，基本上未做优化。
本次参数调整，主要涉及的是增加线程池，增加线程池中的最大线程数（单核CPU配置为200左右是正常的，对于我们的四核CPU的MySQL服务器，可以开到800没问题的），开启NIO，调整使用NIO模型时接收线程的数目，增加等待连接队列长度（acceptCount），禁用DNS查询，最终TOMCAT_PATH/conf/server.xml中变更的配置如下：

```
<Executor name="tomcatThreadPool" namePrefix="catalina-exec-"
 maxThreads="800"
 minSpareThreads="30"
 maxIdleTime="60000"/>
<Connector executor="tomcatThreadPool"
 port="8080"
 acceptCount="200"
 protocol="org.apache.coyote.http11.Http11NioProtocol"
 acceptorThreadCount="2"
 enableLookups="false"
 connectionTimeout="60000"
 redirectPort="8443" />
```

> Tips: Tomcat 7 Http Connector

2.3 MySQL配置

MySQL的调优有很多方面，深入进去能讲一本书，比如《High Performance MySQL, 3rd Edition》。我们本次只是调整来两个配置项，分别是添加query_cache_size和打开慢查询。

query_cache_size的意义在于一个SELECT查询在DB中工作后，DB会把该语句缓存下来，当同样的一个SQL再次来到DB里调用时，DB在该表没发生变化的情况下把结果从缓存中返回给Client。那么如果查询语句涉及的表在这段时间内发生变更，那么首先会把query_cache和该表相关的语句全部置为失效，然后写入更新，如果query_cache非常大，该表的查询结构又比较多，查询语句失效也慢，Update或是Insert就会很慢。慎用。

本次配置`/etc/my.cnf`中，在[mysqld]部分中增加：

```
query_cache_size = 134217728
query_cache_type=1
query_cache_limit=1048576
slow_query_log_file=/var/run/mysqld/slowquery.log
long_query_time=5
slow_query_log=1
log_queries_not_using_indexes=1
```

重启MySQL服务，在MySQL shell中验证配置是否生效：

```
mysql> show variables like '%quer%';
+------------------------------+------------------------------+
| Variable_name                | Value                        |
+------------------------------+------------------------------+
| ft_query_expansion_limit     | 20                           |
| have_query_cache             | YES                          |
| log_queries_not_using_indexes | ON                           |
| log_slow_queries             | ON                           |
| long_query_time              | 5.000000                     |
| query_alloc_block_size       | 8192                         |
| query_cache_limit            | 1048576                      |
| query_cache_min_res_unit     | 4096                         |
| query_cache_size             | 134217728                    |
| query_cache_type             | ON                           |
| query_cache_wlock_invalidate | OFF                          |
| query_prealloc_size          | 8192                         |
| slow_query_log               | ON                           |
| slow_query_log_file          | /var/run/mysqld/slowquery.log |
+------------------------------+------------------------------+
14 rows in set (0.00 sec)
```

3. 第二次调整优化

在第一次调整完之后，又进行了压测，下图为500人并发持续压测3.5h的结果：

Transaction Name	SLA Status	Minimum	Average	Maximum	Std. Deviation	90 Percent	Pass	Fail	Stop
creat_flag	⃠	0.719	54.343	125.701	36.838	105.177	1,539	0	0
creat_flagclass	⃠	0.748	79.966	800.329	180.829	302.994	1,539	0	0
creat_workorder	⃠	0.393	1.525	11.342	0.932	2.589	1,539	0	0
login_in	⃠	0.15	0.489	5.162	0.725	1.263	500	0	0
login_out	⃠	0.15	0.276	0.672	0.173	0.611	500	0	0
select_baojingxinxi	⃠	0.302	0.69	5.743	0.464	0.943	113,800	0	0
select_dingdanquanli	⃠	1.009	16.703	26.165	2.375	18.481	31,888	2	0
select_feiyongbaobiao	⃠	0.701	1.034	8.685	0.569	1.038	31,885	5	0
select_Netresources	⃠	0.341	0.6	7.543	0.408	1.05	31,885	5	0
select_Pnetwork	⃠	0.983	43.353	52.601	11.341	48.86	6,660	0	0
select_Snapshot	⃠	1.274	79.932	115.761	21.173	89.585	6,660	0	0
select_Vdisk	⃠	1.428	223.771	254.42	61.533	250.319	6,660	0	0
select_vm	⃠	0.411	2.016	16.79	0.779	2.376	6,660	0	0
select_VMresources	⃠	0.348	0.606	21.171	0.458	0.639	31,890	0	0
select_Volumeresources	⃠	0.562	0.819	7.716	0.451	0.841	31,887	3	0
select_zhanghuzonglan	⃠	0.762	1.142	12.319	0.601	1.14	31,885	5	0
select_ziyuanjiankong	⃠	0.772	7.207	11.324	1.903	9.188	113,800	0	0

从本次的测试结果来看，绝大部分的响应时间有了很高的提升，比较看不过去的是查询云硬盘列表、查询云硬盘快照列表，这一次优化，主要集中在这两个查询上。

3.1 云硬盘列表查询优化

在程序上加断点，把查询的SQL取出来，并替换成准生产环境中的参数，得到如下SQL：

```
SELECT
```

```
    vol.vol_id AS volId,
    vol.vol_name AS volName,
    vol.vol_status AS volStatus,
    vol.vol_size AS volSize,
    vol.disk_from AS diskFrom,
    vol.create_time AS createTime,
    vol.dc_id AS dcId,
    vol.prj_id AS prjId,
    prj.prj_name AS prjName,
    vol.vm_id AS vmId,
    vm.vm_name AS vmName,
    vol.vol_description AS volDescription,
    vol.bind_point AS bindPoint,
    COUNT(snap.snap_id) AS SnapNum, -- 联查snapshot表仅仅是为了count
    vm.vm_status AS vmStatus,
    vol.vol_bootable AS volBootable,
    vm.os_type AS osType,
    vol.pay_type AS payType,
    vol.end_time AS endTime,
    vol.charge_state AS chargeState,
    dc.dc_name AS dcName
FROM
    cloud_volume vol
        LEFT JOIN
    cloud_vm vm ON vol.vm_id = vm.vm_id
        LEFT JOIN
    cloud_project prj ON vol.prj_id = prj.prj_id
        LEFT JOIN
    dc_datacenter dc ON vol.dc_id = dc.id
        LEFT JOIN
    cloud_disksnapshot snap ON vol.vol_id = snap.vol_id -- snapshot表中的vol_id是一个外键，是应当添加索引的。
        LEFT JOIN
    sys_tagresource tagr ON vol.vol_id = tagr.tgres_resourceid
        LEFT JOIN
    sys_tag tag ON tagr.tgres_tagid = tag.tg_id
WHERE
    vol.is_visable = '1'
        AND vol.is_deleted = '0'
        AND vol.prj_id = 'ID_FOR_AUTO_GENERATED_CUS49'
        AND vol.dc_id = '1601281411350'
GROUP BY vol.vol_id
ORDER BY vol.create_time DESC
```

查看执行计划，如下图所示：

Tabular Explain

id	select_type	table	type	possible_keys	key	key...	ref	rows	Extra
1	SIMPLE	vol	ref	AK_Identifier_2	AK_Identifier_2	303	const	50	Using where; Using temporary; Usin...
1	SIMPLE	vm	eq_ref	PRIMARY,idx_vm_id	PRIMARY	302	eayuncloud.vol.vm_id	1	
1	SIMPLE	prj	eq_ref	PRIMARY,idx_project_id	PRIMARY	98	eayuncloud.vol.prj_id	1	
1	SIMPLE	dc	eq_ref	PRIMARY,idx_datacenter_id	PRIMARY	152	eayuncloud.vol.dc_id	1	
1	SIMPLE	snap	ALL					88175	
1	SIMPLE	tagr	ref	idx_resouceid	idx_resouceid	195	eayuncloud.vol.vol_id	1	
1	SIMPLE	tag	eq_ref	PRIMARY	PRIMARY	98	eayuncloud.tagr.tgres_tagid	1	Using index

发现snap进行了一个全表扫描，则对于snap.vol_id，应该是没有索引的，查看表结构，确定没有之后，对vol_id字段添加索引，再次查看执行计划得到的结果如下图所示：

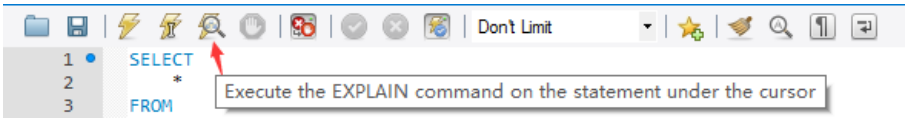
id	select_type	table	type	possible_keys	key	key...	ref	rows	Extra
1	SIMPLE	vol	ref	AK_Identifier_2	AK_Identifier_2	303	const	50	Using where; Using temporary; Usin...
1	SIMPLE	vm	eq_ref	PRIMARY,idx_vm_id	PRIMARY	302	eayuncloud.vol.vm_id	1	
1	SIMPLE	prj	eq_ref	PRIMARY,idx_project_id	PRIMARY	98	eayuncloud.vol.prj_id	1	
1	SIMPLE	dc	eq_ref	PRIMARY,idx_datacenter_id	PRIMARY	152	eayuncloud.vol.dc_id	1	
1	SIMPLE	snap	ref	idx_vol_id	idx_vol_id	303	eayuncloud.vol.vol_id	3	Using index
1	SIMPLE	tagr	ref	idx_resouceid	idx_resouceid	195	eayuncloud.vol.vol_id	1	
1	SIMPLE	tag	eq_ref	PRIMARY	PRIMARY	98	eayuncloud.tagr.tgres_tagid	1	Using index

明显看到区别，影响行数从全表到3行，提升明显。上面的查询语句，在准生产执行耗时从70s降低到不到0.1s。

除了添加索引，还可以从业务角度上把查询语句修改，如与晓东沟通后，列表查询不需要展示关联快照的数量，则count(snap.snap_id)其实就没有必要了，也就是联查cloud_disksnapshot就不需要了。考虑到现阶段，修改业务代码，就要重新测试，所以还是先从SQL索引的优化入手。

> Tips：MySQL执行计划解读

我们可以使用语句`Explain select ...`来查看查询的执行计划，也可以使用客户端工具自带的功能，如：



注，解释计划只针对select操作。

id - 包含一组数字，表示查询中执行select子句或操作表的顺序，如果是子查询，id的序号会递增，值越大优先级越高，越先被执行；id相同，执行顺序由上至下

select_type - 表示查询中每个select子句的类型：SIMPLE（不含子查询或者UNION）、PRIMARY（查询中包含任何复杂的子部分，最外层查询会被标志为该类型）、DERIVED（在From列表中包含子查询的类型，中文释义：衍生）等

type - 表示MySQL在表中找到所需行的方式，又称为“访问类型”，常见的类型有：ALL（Full Table Scan）、INDEX（Full Index Scan）、range（索引范围扫描，对索引的扫描开始于某一点，返回匹配值域的行，常见于between、<、>等的查询）、ref（非唯一性索引扫描，返回匹配某个单独值的所有行。常见于使用非唯一索引进行的查找）、eq_ref（唯一性索引扫描，对于每个索引键，表中只有一条记录与之匹配，常见于主键或唯一索引扫描）、const/system（当MySQL对查询某部分进行优化，并转换为一个常量时，使用这些类型访问。如将主键置于where列表中）、NULL（MySQL在优化过程中分解语句，执行时甚至不用访问表或索引）。注，由左到右，性能由最差到最好。

possible_keys - 列举出可使用的索引，但不一定会被用到
key - 实际使用的索引，如果没有使用索引，显示为空
key_len - 表示索引中使用的字节数，可通过该列计算查询中使用的索引的长度
ref - 表示上述表的连接匹配条件，即哪些列或常量被用于查找索引列上的值
rows - 表示MySQL根据表统计信息及索引选用情况，估算的找到所需的记录所读取的行数
extra - 包含不适合在其他列中显示但十分重要的额外信息

3.2 云硬盘快照列表查询优化

同样的套路，我们把云硬盘快照的查询SQL取出来，替换一下参数，得到如下SQL：

```
SELECT
    snap.snap_id AS snapId,
    snap.snap_name AS snapName,
    snap.snap_size AS snapSize,
    snap.snap_status AS snapStatus,
    snap.snap_description AS snapDescription,
    snap.prj_id AS prjId,
    snap.dc_id AS dcId,
    snap.create_time AS createTime,
    snap.vol_id AS volId,
    vol.vol_name AS volName,
    COUNT(volume.vol_id) AS volNum,
    prj.prj_name AS prjName,
    dc.dc_name AS dcName,
    snap.pay_type AS payType,
    snap.charge_state AS chargeState,
    snap.snap_type AS snapType
FROM
    cloud_disksnapshot snap
        LEFT JOIN
    (SELECT
        vol_id, vol_name
    FROM
        cloud_volume
    WHERE
        is_deleted = '0' AND is_visable = '1') vol ON snap.vol_id = vol.vol_id --这里还有一个内嵌查询，虽然也是查的volume表
        LEFT JOIN
    cloud_volume volume ON snap.snap_id = volume.from_snapid -- from_snapid有很大的概率没有索引
        AND volume.is_deleted = 0
        LEFT JOIN
    cloud_project prj ON snap.prj_id = prj.prj_id
        LEFT JOIN
    dc_datacenter dc ON snap.dc_id = dc.id
WHERE
```

```
    1 = 1 AND snap.is_visable = '1'
        AND snap.is_deleted = '0'
        AND snap.dc_id = '1601281411350'
        AND snap.prj_id = 'ID_FOR_AUTO_GENERATED_CUS49'
GROUP BY snap.snap_id
ORDER BY snap.create_time DESC
```

有了这个猜想之后，我们查看执行计划：

id	select_type	table	type	possible_keys	key	key...	ref	rows	Extra
1	PRIMARY	snap	ref	AK_Identifier_2	AK_Identifier_2	303	const	764	Using where; Using temporary; Usin...
1	PRIMARY	<derived2>	ALL					10117	
1	PRIMARY	volume	ALL					10328	
1	PRIMARY	prj	eq_ref	PRIMARY,idx_project_id	PRIMARY	98	eayuncloud.snap.prj_id	1	
1	PRIMARY	dc	eq_ref	PRIMARY,idx_datacenter_id	PRIMARY	152	eayuncloud.snap.dc_id	1	
2	DERIVED	cloud_volume	ALL					10328	Using where

确实可以看到volume表是全表扫描，查看表结构，from_snapid无索引，添加后执行计划如下所示：

id	select_type	table	type	possible_keys	key	key...	ref	rows	Extra
1	PRIMARY	snap	ref	AK_Identifier_2	AK_Identifier_2	303	const	764	Using where; Using temporary; Usin...
1	PRIMARY	<derived2>	ALL					10117	
1	PRIMARY	volume	ref	idx_from_snapid	idx_from_snapid	303	eayuncloud.snap.snap_id	5198	
1	PRIMARY	prj	eq_ref	PRIMARY,idx_project_id	PRIMARY	98	eayuncloud.snap.prj_id	1	
1	PRIMARY	dc	eq_ref	PRIMARY,idx_datacenter_id	PRIMARY	152	eayuncloud.snap.dc_id	1	
2	DERIVED	cloud_volume	ALL					10396	Using where

从耗时上来看，未添加索引前，查询耗时143.422s，添加索引后，查询耗时7.234s，提升明显，但是一个查询7s还是略长。

4. 第三次调整优化

在对两个SQL添加索引之后，又做了一次700人的压测，这次和第一轮压测的数据量（700人）、时长（2h48min）是一致的，得到的结果如下图所示：

Transaction Name	SLA Status	Minimum	Average	Maximum	Std. Deviation	90 Percent	Pass	Fail	Stop
creat_flag		8.191	216.902	325.181	97.483	296.818	517	0	0
creat_flagclass		1.079	19.571	87.454	19.605	56.126	517	0	0
creat_workorder		0.365	3.625	17.719	2.988	8.447	517	0	0
login_in		0.144	0.372	5.518	0.536	0.5	700	0	0
login_out		0.134	0.49	1.147	0.29	1.076	700	0	0
select_baojingxinxi		0.295	1.948	12.647	1.891	4.835	81,029	0	0
select_dingdanguanli		0.977	30.521	51.908	9.434	39.589	20,961	5	0
select_feiyongbaobiao		0.681	2.242	21.922	1.465	4.425	20,965	1	0
select_Netresources		0.335	1.932	9.837	1.505	4.459	20,961	5	0
select_Pnetwork		0.945	79.845	102.286	25.146	96.35	21,908	0	0
select_Snapshot		0.38	7.633	16.601	4.693	14.238	21,908	0	0
select_Vdisk		0.228	1.118	3.952	0.351	1.431	21,908	0	0
select_vm		0.419	3.03	31.081	1.176	4.245	21,908	0	0
select_VMresources		0.345	0.888	21.511	0.442	1.297	20,966	0	0
select_Volumeresources		0.55	1.122	12.359	0.357	1.381	20,964	2	0
select_zhanghuzonglan		0.746	1.99	22.716	0.875	3.164	20,965	1	0
select_ziyuanjiankong		0.639	11.683	21.505	3.396	15.459	81,029	0	0

从这一次结果来看，查询云硬盘、云贵硬盘快照的耗时（一般看90%通过率的耗时）相比之前的250s、89s有了很高的提升。那我们姑且把这两个查询放一放，继续找耗时较长的事务。可以看到，`select_pnetwork`和`select_dingdanguanli`耗时也不短，与罗利君沟通后，我们明确了这两个查询分别是查询私有网络和查询订单列表。

4.1 私有网络查询优化

继续取SQL：

```
SELECT
    cn.net_id,
    cn.net_name,
    cn.net_status,
    cn.admin_stateup,
    cn.prj_id,
    cn.dc_id,
    COUNT(cs.subnet_id) subNetCount,
    rou.rate,
    rou.net_name extNetName,
```

```
    rou.route_name,
    rou.route_id,
    rou.gateway_ip,
    cn.pay_type,
    cn.charge_state,
    cn.create_time,
    cn.end_time,
    dc.dc_name
FROM
    cloud_network cn
        LEFT OUTER JOIN
    cloud_subnetwork cs ON cn.net_id = cs.net_id
        LEFT OUTER JOIN
    dc_datacenter dc ON cn.dc_id = dc.id
        LEFT OUTER JOIN
    (SELECT
        cr.rate,
            cn1.net_name,
            cr.network_id,
            cr.route_name,
            cr.route_id,
            cr.gateway_ip
    FROM
        cloud_route cr
    LEFT OUTER JOIN cloud_network cn1 ON cn1.net_id = cr.net_id) rou ON rou.network_id = cn.net_id
WHERE
    cn.router_external = '0'
        AND cn.prj_id = 'ID_FOR_AUTO_GENERATED_CUS49'
        AND cn.is_visible = '1'
GROUP BY cn.net_id
ORDER BY cn.create_time DESC
```

同样的各种join和内嵌查询混合使用，检查执行计划，如下图所示：

id	select_type	table	type	possible_keys	key	key...	ref	rows	Extra
1	PRIMARY	cn	ref	AK_Identifier_2	AK_Identifier_2	303	const	1	Using where; Using temporary; Usin...
1	PRIMARY	cs	ALL					25150	
1	PRIMARY	dc	eq_ref	PRIMARY,idx_datacenter_id	PRIMARY	152	eayuncloud.cn.dc_id	1	
1	PRIMARY	<derived2>	ALL					5010	
2	DERIVED	cr	ALL					5074	
2	DERIVED	cn1	eq_ref	PRIMARY	PRIMARY	302	eayuncloud.cr.net_id	1	

有三个全表扫描，分别是cr、和cs，通过执行计划我们从id=2开始看（从下往上，从里往外看），检查join的几张表，分别是cloud_subnetwork、cloud_route、cloud_network，增加cloud_subnetwork的net_id的索引，增加cloud_route表的net_id和network_id的索引，再次检查执行计划，如下图所示：

id	select_type	table	type	possible_keys	key	key...	ref	rows	Extra
1	PRIMARY	cn	ref	AK_Identifier_2	AK_Identifier_2	303	const	1	Using where; Using temporary; Usin...
1	PRIMARY	cs	ref	idx_net_id	idx_net_id	303	eayuncloud.cn.net_id	2	Using index
1	PRIMARY	dc	eq_ref	PRIMARY,idx_datacenter_id	PRIMARY	152	eayuncloud.cn.dc_id	1	
1	PRIMARY	<derived2>	ALL					5010	
2	DERIVED	cr	ALL					5055	
2	DERIVED	cn1	eq_ref	PRIMARY	PRIMARY	302	eayuncloud.cr.net_id	1	

能看到我们在cs上使用索引之后，能减少影响25150行到2行，效果显著。

4.2 订单查询优化

订单的查询比较简单，如下所示：

```
SELECT
    *
FROM
    order_info
WHERE
    create_time >= '2017-01-01 00:00:00'
        AND create_time <= '2017-01-06 00:00:00'
        AND cus_id = '998083a7591f2ff901591f92fc1e0000';
```

从查询中我们可以看到cus_id做为外键，如果查询较慢的话，问题应该出在它身上，果不其然，检查了订单表，添加索引之后，从原来的全表扫描，最终得到的执行计划如下所示：

id	select_type	table	type	possible_keys	key	key...	ref	rows	Extra
1	SIMPLE	order_info	ref	idx_cus_id	idx_cus_id	98	const	11	Using where

5 1000人并发压测

网路优化后，订单未优化前又进行了一次700人的压测，结果如下图：

Transaction Name	SLA Status	Minimum	Average	Maximum	Std. Deviation	90 Percent	Pass	Fail	Stop
creat_flag		10.015	233.615	316.399	92.951	306.672	476	0	0
creat_flagclass		0.761	19.153	78.458	13.696	40.865	476	0	0
creat_workorder		0.368	8.28	22.775	4.73	13.855	476	0	0
login_in		0.147	1.228	9.627	1.624	3.986	700	0	0
login_out		0.147	0.443	1.503	0.351	0.995	699	1	0
select_baojingxinxi		0.295	4.447	13.275	2.808	8.25	64,958	3	0
select_dingdanquanli		0.959	54.102	221.302	42.832	80.226	13,673	4	0
select_feiyongbaobiao		0.681	3.523	24.795	1.895	5.786	13,675	2	0
select_Netresources		0.334	2.021	9.224	1.486	4.436	13,675	2	0
select_Pnetwork		0.536	10.368	18.375	4.605	15.638	51,576	3	0
select_Snapshot		0.374	8.361	30.144	5.589	16.799	51,577	2	0
select_Vdisk		0.229	1.933	11.893	1.086	3.385	51,576	3	0
select_vm		0.424	8.67	40.372	4.389	12.927	51,575	4	0
select_VMresources		0.35	1.863	21.185	1.816	4.539	13,675	2	0
select_Volumeresources		0.545	2.172	22.676	1.761	4.783	13,675	2	0
select_zhanghuzonglan		0.749	3.952	25.421	2.3	7.064	13,674	3	0
select_ziyuanjiankong		0.675	14.53	31.352	5.452	21.712	64,958	3	0

网络的查询从96.35s降低至15.638s。

在第四章节的SQL优化全部做完之后仅进行了1000人的压测，结果如下图：

Transaction Name	SLA Status	Minimum	Average	Maximum	Std. Deviation	90 Percent	Pass	Fail	Stop
creat_flag		13.925	290.666	474.031	116.802	415.413	222	7,466	0
creat_flagclass		0.815	62.404	375.41	80.95	184.76	277	7,411	0
creat_workorder		0.371	16.081	115.475	18.773	43.741	314	7,374	0
login_in		0.145	1.434	21.22	1.801	3.597	1,000	0	0
login_out		0.145	0.451	1.444	0.347	1.093	1,000	0	0
select_baojingxinxi		0.299	8.34	61.094	7.612	16.196	70,060	4	0
select_dingdanquanli		0.694	8.329	99.047	7.966	18.285	31,855	8	0
select_feiyongbaobiao		0.695	6.514	103.967	7.215	14.075	31,857	6	0
select_Netresources		0.339	2.451	45.828	3.347	4.488	31,854	9	0
select_Pnetwork		0.523	16.618	61.635	9.288	25.126	53,986	10	0
select_Snapshot		0.374	11.457	43.762	7.641	22.661	53,982	14	0
select_Vdisk		0.228	5.852	32.513	5.898	15.337	53,985	11	0
select_vm		0.417	15.799	63.284	10.411	29.053	53,989	7	0
select_VMresources		0.348	4.835	80.152	6.181	9.39	31,859	4	0
select_Volumeresources		0.554	4.874	60.618	6.048	8.415	31,857	6	0
select_zhanghuzonglan		0.761	7.842	64.856	8.086	17.707	31,855	8	0
select_ziyuanjiankong		0.762	21.494	91.876	17.538	52.472	70,057	7	0

可以看到，订单查询的耗时，从之前700人压测的80.226s降低至了18.285s。

6.总结

本次查询从四个方面进行了优化，分别是：

- JDBC连接池配置
- Tomcat服务器配置
- MySQL配置文件配置
- SQL优化

从本次SQL优化的过程和结果看，我们其实有遵循一定的"潜规则"，有：

- Step.1 - 先望一眼SQL，初步推测哪些需要索引但是可能没有
- Step.2 - 查看执行计划，分析执行计划
- Step.3 - 检查表结构，合理添加索引
- 重复Step.2，知道执行计划看到一个满意的结果

当然，上述套路是建立在尽可能少或者不动业务代码上，仅从SQL层面去靠添加索引来优化。

此外，在这里共同学习一下一些博主总结的优化原则：

1. 使用JOIN时候，应该用小的结果驱动大的结果（left join 左边表结果尽量小，如果有条件应该放到左边先处理，right join 同理反向），同时，尽量把牵涉到多表联合的查询拆分多个query(多个连表查询效率低，容易到之后锁表和阻塞)
2. 注意LIKE模糊查询的使用，避免使用 %% ,可以使用后面带% ，双%是不走索引
3. 避免使用count(*)，会加一个表级锁
4. 在做查询时，要合理的对主键、外键添加索引，如果where条件中多个查询条件，优先将有索引的字段放在前面，这样后面的查询会建立在较少的结果数据中
5. 对where、group by、order by和join on的字段使用索引
6. 保持索引的简洁，尽量避免复合索引，尤其要避免复合索引上重复覆盖单字段索引
7. ...

靠列举规则是没有办法列举全的，只能慢慢在实践中摸索，掌握优化的"潜规则"——一初看二执行三分析四重复，不断尝试，不断推进优化效果。